

CLIMATE CHANGE

11/2020

Verbesserung der methodischen Grundlagen und Erstellung eines Treibhausgasemissions- szenarios als Grundlage für den Projektionsbericht 2017 im Rahmen des EU- Treibhausgasmonitorings („Politikszenerien VIII“)

Abschlussbericht

CLIMATE CHANGE 11/2020

Ressortforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und nukleare Sicherheit
Forschungskennzahl 3716 41 105 0
FB 000290

Verbesserung der methodischen Grundlagen und Erstellung eines Treibhausgasemissions- szenarios als Grundlage für den Projektions- bericht 2017 im Rahmen des EU-Treibhaus- gasmonitorings („Politikszenarios VIII“)

Abschlussbericht

von

Julia Repenning, Lukas Emele, Sylvie Ludig, Thomas
Bergmann, Ruth Blanck, Veit Bürger, Günter Dehoust,
Ralph Harthan, Hauke Hermann, Lara Mia Herrmann,
Hannah Förster, Benjamin Greiner, Klaus Hennenberg,
Wolfram Jörß, Charlotte Loreck, Felix Matthes, Lothar
Rausch, Margarethe Scheffler, Katja Schumacher, Kirsten
Wiegmann, Carina Zell-Ziegler
Öko-Institut, Berlin

Sibylle Braungardt, Wolfgang Eichhammer, Tobias Fleiter,
Benjamin Fries, Barbara Schlo-mann, Jan Steinbach
Fraunhofer ISI, Karlsruhe

Dr. Hans Joachim Ziesing


Texte und Berechnungen zu den Quellgruppen
Landwirtschaft und LULUCF unter Mitwirkung von:
Karsten Dunger, Andreas Gensior, Hans-Dieter Haenel,
Andreas Laggner, Bernhard Oster-burg, Claus Rösemann,
Sebastian Rüter, Wolfgang Stümer, Bärbel Tiemeyer Johann
Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig


Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

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

 [/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

 [/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

Durchführung der Studie:

Öko-Institut e.V., Büro Berlin
Schicklerstr. 5-7
10179 Berlin

Fraunhofer ISI
Breslauer Str. 48
76139 Karlsruhe

Abschlussdatum:

Oktober 2018

Redaktion:

Fachgebiet V 1.2 Energiestrategien und -szenarien
Kai Wehnmann, Lizzi Sieck, Mark Nowakowski

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, Februar 2020

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

Abstract (deutsch)

Für das Projekt „Verbesserung der methodischen Grundlagen und Erstellung eines Treibhausgasemissionsszenarios als Grundlage für den Projektionsbericht 2017 im Rahmen des EU Treibhausgasmonitorings“ („Politikszenerarien VIII“) wurden drei Szenarien für die Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland für den Zeitraum 2020 bis 2035 erarbeitet. Zwei dieser Szenarien haben Eingang in den Projektionsbericht 2017 gefunden:

- 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 waren.
- 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) bis zu diesem Zeitpunkt noch nicht umgesetzten politischen Maßnahmen berücksichtigt.

Das dritte Szenario, welches als Diskussionsbeitrag für die Erarbeitung des Maßnahmenprogramms für den Klimaschutzplan 2050 dienen soll, stellt einen möglichen Lösungsweg dar, wie die Sektorziele bis 2030 erreicht werden können:

- c) Im Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (MEMS) wird ein Bündel von Maßnahmen vorgeschlagen, die in Summe die sektoralen Ziele für das Jahr 2030 des Klimaschutzplans 2050 der Bundesregierung erfüllen. Dabei wurden vor allem solche Maßnahmen ausgewählt, die auf das ebenfalls für das im Klimaschutzplan 2050 formulierte „Leitbild der weitgehenden Treibhausgasneutralität bis Mitte des Jahrhunderts“ hinwirken.

Für die gesamten Treibhausgasemissionen (ohne LULUCF) ergibt sich im Mit-Maßnahmen-Szenario für den Zeitraum 1990 bis 2030 eine Minderung um 41,2 %, bis 2035 werden 46,4 % gemindert. Im Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario werden im Zeitraum 1990 bis 2030 etwa 45,5 % gemindert, bis 2035 52,6 %. Im MEMS werden bis 2030 57 % gemindert und bis 2035 liegt die Minderung bei 68 %.

Den Emissionsentwicklungen liegen unterschiedliche klima- und energiepolitische Maßnahmen bzw. Zielsetzungen zu Grunde. Die größten Beiträge zur Emissionsminderung im Mit-Maßnahmen-Szenario bis 2030 erbringen der Emissionshandel sowie das Marktanzreizprogramm für erneuerbare Energien im Gebäudebereich. Die Energieeinsparverordnung trägt ebenfalls zu erheblichen Minderungen bei. Die Braunkohle-Sicherheitsbereitschaft erbringt einen großen Beitrag bis 2020. Weitere Emissionsminderungen gegenüber dem MMS werden im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario und Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario erbracht. Die Dekarbonisierung der Stromerzeugung durch erneuerbare Energien und KWK sowie die Weiterentwicklung des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes leisten die größten Beiträge. Auch die Fortschreibung bzw. Verschärfung der CO₂-Grenzwerte im Verkehrsbereich führen zu erheblichen zusätzlichen Emissionsminderungen.

Abstract (englisch)

Three scenarios for the development of greenhouse gas emissions in Germany from 2020 to 2035 have been elaborated for the project “Improving the methodological foundation and elaborating a greenhouse gas emission scenario for the 2017 Projection Report within the framework of EU greenhouse gas monitoring” (“Policy Scenarios VIII”). Two of these scenarios were included in the 2017 Projection Report:

- a) The “with existing measures” scenario (WEM) takes into account all measures implemented by 31 July 2016. It also includes measures of Germany government’s Climate Action Plan 2020 (BMUB 2014) that had been implemented by this date.
- b) The “with additional measures” scenario (WAM) primarily takes into account the measures of the Germany’s Climate Action Plan 2020 (BMUB 2014) and of the National Energy Efficiency Action Plan (BMWi 2014) that have not yet been implemented.

The third scenario, which serves as contribution to discussions about the development of the programme of measures for the Climate Action Plan 2050, represents a possible path for achieving the sector targets by 2030:

- c) In the “with expanded measures” scenario (WEXM), a package of measures is proposed that in sum meet the sectoral targets for 2030 as laid down in the German government’s Climate Action Plan 2050 (BMUB 2016b). In consultation with the German Federal Environment Agency (UBA), measures were selected that would work towards the “Guiding principles of far-reaching greenhouse gas neutrality by mid-century” that were also specified for the Climate Action Plan 2050.

For the total greenhouse gas emissions (excluding LULUCF), the WEM scenario shows an emission reduction of 41.2 % from 1990 to 2030 and of 46.4% from 1990 to 2035. In the WAM scenario, emissions are reduced by approx. 45.5% between 1990 and 2030 and by 52.6 % between 1990 and 2035. In the WEXM scenario, emissions are reduced by 57 % between 1990 and 2030 and by 68% between 1990 and 2035.

The emission developments are based on different measures and targets of climate and energy policy. The largest contributions to emission reduction in the WEM scenario up to 2030 are made by emissions trading and the market incentive programme for renewable energies in the building sector. The Energy Saving Ordinance also contributes to substantial emission reductions. The lignite security standby reserve makes a large contribution up to 2020. Further emission reductions are achieved in the WAM and the WEXM scenarios compared to the WEM scenario. The decarbonization of electricity generation based on renewable energies and CHP as well as the further development of the German Renewable Energy Sources Act make the largest contributions. The revision or tightening of the emission standards in the transport sector also lead to substantial additional emission reductions.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	4
Abbildungsverzeichnis	14
Tabellenverzeichnis	17
Abkürzungsverzeichnis	27
Abstract (deutsch)	4
Abstract (englisch)	5
Zusammenfassung	37
Einleitung	37
Rahmendaten	38
Erreichung der THG-Minderungsziele und weiterer klima- und energiepolitischer Ziele	39
Klima- und energiepolitische Maßnahmen des MEMS	42
Fazit	47
Executive summary	48
Introduction	48
Framework data	49
Climate and energy measures of the WEXM	53
Conclusion	58
1 Einleitung und methodischer Ansatz	59
1.1 Einleitung	59
1.2 Methodischer Ansatz für die Emissionsprojektionen	60
2 Beschreibung der Rahmendaten und der in Deutschland ergriffenen Maßnahmen und Instrumente zum Klimaschutz	64
2.1 Demographische und gesamtwirtschaftliche Rahmendaten	64
2.1.1 Demographische Entwicklung	64
2.1.2 Gesamtwirtschaftliche Entwicklung	67
2.2 Projektion der Entwicklung der Primärenergiepreise	69
2.2.1 Preisprojektionen für Rohöl, Steinkohle und Erdgas	69
2.2.2 Preisprojektionen für Braunkohle	70
2.3 Preise für Treibhausgas-Emissionsberechtigungen	71
2.4 Projektion der Entwicklung der Endverbraucherpreise	73
2.5 Rahmendaten in einzelnen Sektoren	73
2.5.1 Verkehr	73
2.5.1.1 Verkehrsnachfrage	73
2.5.1.2 Batteriepreisentwicklung	75

2.5.1.3	Entwicklung der Diskrepanz zwischen Testzyklus und Realverbrauch bei Pkw	75
2.5.1.4	Biokraftstoffanteil	77
2.5.2	Private Haushalte	78
2.5.2.1	Anzahl privater Haushalte	78
2.5.2.2	Raumwärme und Warmwasser	79
2.5.3	Industrie und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) – Strom und Prozesswärme/-dampf	79
2.6	Sektorübergreifende Maßnahmen	83
2.6.1	Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS)	83
2.6.1.1	Ökonomische Instrumente und finanzielle Förderung	83
2.6.1.2	Ordnungsrecht	85
2.6.1.3	Flankierende und informatorische Instrumente	87
2.6.2	Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS)	89
2.6.2.1	Ökonomische Instrumente und finanzielle Förderung	89
2.6.2.2	Ordnungsrecht	89
2.6.3	Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (MEMS).....	90
2.6.3.1	Ökonomische Instrumente und finanzielle Förderung	90
2.6.3.2	Ordnungsrecht	92
2.7	Maßnahmen in einzelnen Sektoren.....	92
2.7.1	Verkehr.....	92
2.7.1.1	Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS)	92
2.7.1.2	Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS)	94
2.7.1.3	Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (MEMS)	98
2.7.2	Gebäudebereich – Wärme- und Kältebereitstellung	100
2.7.2.1	Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS)	100
2.7.2.2	Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS)	108
2.7.2.3	Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (MEMS)	110
2.7.3	Private Haushalte – Strom	115
2.7.3.1	Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS)	115
2.7.3.2	Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS)	116
2.7.3.3	Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (MEMS)	117
2.7.4	Industrie & GHD – Strom und Prozesswärme	117
2.7.4.1	Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS)	118
2.7.4.2	Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS)	123
2.7.4.3	Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (MEMS)	125
2.7.4.4	Flankierende Instrumente	125

2.7.5	Stromsektor / Energiewirtschaft.....	126
2.7.5.1	Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS)	126
2.7.5.2	Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS)	127
2.7.5.3	Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (MEMS)	127
2.7.6	Industrieprozesse und Produktverwendung (CO ₂ -, CH ₄ - und N ₂ O-Emissionen).....	128
2.7.6.1	Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS)	128
2.7.6.2	Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS)	128
2.7.6.3	Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (MEMS)	128
2.7.7	Industrieprozesse und Produktverwendung (Fluorierte Treibhausgase)	128
2.7.7.1	Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS)	128
2.7.7.2	Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS)	128
2.7.7.3	Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (MEMS)	129
2.7.8	Landwirtschaft.....	129
2.7.8.1	Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS)	129
2.7.8.2	Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS)	131
2.7.8.3	Mit-erweiterten-Maßnahmen-Szenario (MEMS)	131
2.7.9	LULUCF	135
2.7.9.1	Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS)	135
2.7.9.2	Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS)	136
2.7.9.3	Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (MEMS)	136
2.7.10	Abfallwirtschaft	138
2.7.10.1	Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS)	138
2.7.10.2	Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS)	139
2.7.10.3	Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (MEMS)	140
3	Quantifizierung der Wirkungen der Maßnahmen und Instrumente zum Klimaschutz.....	141
3.1	Sektorale Projektionen	141
3.1.1	Methodische Vorbemerkungen zur Quantifizierung der sektorübergreifenden Maßnahmen	141
3.1.2	Verkehr.....	142
3.1.2.1	Methodik	142
3.1.2.2	Annahmen und Parameter im MMS	144
3.1.2.3	Annahmen und Parameter im MWMS	147
3.1.2.4	Annahmen und Parameter im MEMS	149
3.1.2.5	Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios	153
3.1.2.6	Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios	156
3.1.2.7	Ergebnisse der Projektion des Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenarios	158

3.1.2.8	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Vergleich der Szenarien	161
3.1.2.9	Entwicklung der Verkehrsleistungen im Vergleich der Szenarien	164
3.1.3	Gebäudebereich – Wärme- und Kältebereitstellung	166
3.1.3.1	Methodik	166
3.1.3.2	Annahmen und Parameter	169
3.1.3.3	Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios	170
3.1.3.4	Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios	174
3.1.3.5	Ergebnisse der Projektion des Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenarios	178
3.1.3.6	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Vergleich der Szenarien	184
3.1.4	Private Haushalte – Strom	187
3.1.4.1	Methodik	187
3.1.4.2	Annahmen und Parameter	189
3.1.4.3	Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios	193
3.1.4.4	Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios	195
3.1.4.5	Ergebnisse der Projektion des Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario	197
3.1.5	Industrie	198
3.1.5.1	Methodik	198
3.1.5.2	Annahmen und Parameter MMS	202
3.1.5.3	Annahmen und Parameter MWMS	212
3.1.5.4	Annahmen und Parameter MEMS	214
3.1.5.5	Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios	215
3.1.5.6	Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios	218
3.1.5.7	Ergebnisse der Projektion des Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenarios	220
3.1.5.8	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Vergleich der Szenarien	222
3.1.6	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD).....	224
3.1.6.1	Methodik	224
3.1.6.2	Annahmen und Parameter	226
3.1.6.3	Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios	226
3.1.6.4	Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios	228
3.1.6.5	Ergebnisse der Projektion des Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenarios	228
3.1.7	Kraftwerke.....	229
3.1.7.1	Methodik	229
3.1.7.2	Annahmen und Parameter	232
3.1.7.3	Stromverbrauch	243
3.1.7.4	Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios	248
3.1.7.5	Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios	255

3.1.7.6	Ergebnisse der Projektion des Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenarios	262
3.1.7.7	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen in den Szenarien	269
3.1.8	Übrige Energiewirtschaft.....	271
3.1.8.1	Methodik, Annahmen und Parameter	271
3.1.8.2	Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios	273
3.1.8.3	Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios	275
3.1.8.4	Ergebnisse der Projektion des Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenarios	277
3.1.8.5	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Vergleich der Szenarien	279
3.1.9	Diffuse Emissionen aus Brennstoffen	280
3.1.9.1	Methodik	281
3.1.9.2	Annahmen und Parameter	281
3.1.9.3	Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios	282
3.1.9.4	Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios	283
3.1.9.5	Ergebnisse der Projektion des Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenarios	284
3.1.9.6	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Vergleich der Szenarien	285
3.1.10	Industrieprozesse und Produktverwendung (CO ₂ -, CH ₄ - und N ₂ O-Emissionen).....	286
3.1.10.1	Methodik sowie Annahmen und Parameter	286
3.1.10.2	Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios	287
3.1.10.3	Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios	289
3.1.10.4	Ergebnisse der Projektion des Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenarios	291
3.1.10.5	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Vergleich der Szenarien	292
3.1.11	Industrieprozesse und Produktverwendung (Emissionen fluorierter Treibhausgase).....	294
3.1.11.1	Methodik sowie Annahmen und Parameter	294
3.1.11.2	Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios	296
3.1.11.3	Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios	298
3.1.11.4	Ergebnisse der Projektion des Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario	301
3.1.11.5	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Vergleich der Szenarien	301
3.1.12	Landwirtschaft.....	303
3.1.12.1	Methodik	303
3.1.12.2	Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios	304
3.1.12.3	Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios	308
3.1.12.4	Ergebnisse der Projektion des Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenarios (MEMS)	310
3.1.12.5	Quantifizierung der Einzelmaßnahmenwirkung	312
3.1.12.6	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen – Vergleich der Szenarien	313
3.1.13	LULUCF	315

3.1.13.1	Methodik	315
3.1.13.2	Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios (Darstellung durch das Thünen-Institut)	316
3.1.13.3	Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios (Darstellung durch das Thünen-Institut)	320
3.1.13.4	Ergebnisse der Projektion des Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (Darstellung durch das Öko-Institut)	320
3.1.13.5	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Vergleich der Szenarien	325
3.1.14	Abfallwirtschaft	326
3.1.14.1	Methodik	326
3.1.14.2	Annahmen und Parameter im MMS	327
3.1.14.3	Annahmen und Parameter im MWMS	328
3.1.14.4	Annahmen und Parameter im MEMS	328
3.1.14.5	Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios	328
3.1.14.6	Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios	330
3.1.14.7	Ergebnisse der Projektion des Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenarios	330
3.1.14.8	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Vergleich der Szenarien	330
3.2	Primär- und Endenergieverbrauch	332
3.2.1	Primärenergieverbrauch	332
3.2.1.1	Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios	333
3.2.1.2	Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios	336
3.2.1.3	Ergebnisse der Projektion des Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenarios	338
3.2.2	Endenergieverbrauch	340
3.2.2.1	Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios	340
3.2.2.2	Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios	343
3.2.2.3	Ergebnisse der Projektion des Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenarios	346
3.3	Gesamte energie- und prozessbedingte Treibhausgasemissionen	350
3.3.1	Emissionen aus Verbrennungsprozessen	350
3.3.2	Treibhausgasemissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung	354
3.4	Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen und deren Komponenten	356
3.4.1	Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios	356
3.4.1.1	Entwicklung der Treibhausgasemissionen nach Treibhausgasen	356
3.4.1.2	Entwicklung der Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen	358
3.4.1.3	Entwicklung der Treibhausgasemissionen in ETS und ESD	361
3.4.2	Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios	362
3.4.2.1	Entwicklung der Treibhausgasemissionen nach Treibhausgasen	362
3.4.2.2	Entwicklung der Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen	364

3.4.2.3	Entwicklung der Treibhausgasemissionen in ETS und ESD	367
3.4.3	Ergebnisse der Projektion des Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenarios	368
3.4.3.1	Entwicklung der Treibhausgasemissionen nach Treibhausgasen	368
3.4.3.2	Entwicklung der Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen	370
3.4.3.3	Entwicklung der Treibhausgasemissionen in ETS und ESD	373
3.4.4	Kumulierte Treibhausgasemissionen	374
3.5	Sensitivitätsanalysen.....	375
3.5.1	Mit-Maßnahmen-Szenario	377
3.5.1.1	Wirtschaftswachstum und demographische Entwicklung	377
3.5.1.2	EUA- und Brennstoffpreise im Stromsektor	378
3.5.1.3	Ergebnis im MMS	379
3.5.2	Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario.....	379
3.5.2.1	Wirtschaftswachstum und demographische Entwicklung	380
3.5.2.2	EUA- und Brennstoffpreise im Stromsektor und Stromexport	381
3.5.2.3	Ergebnis im MWMS	382
3.5.3	Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario.....	383
3.5.3.1	Wirtschaftswachstum und demographische Entwicklung	383
3.5.3.2	EUA- und Brennstoffpreise im Stromsektor	384
4	Erreichung der Energie- und Klimaschutzziele der Bundesregierung	387
4.1	Energie- und Klimaschutzkonzept von 2010/2011	387
4.1.1	Definition der Ziele.....	387
4.1.2	Übersicht der Zielerreichung.....	387
4.1.3	Reduktion der Treibhausgasemissionen	389
4.1.4	Steigerung der Anteile erneuerbarer Energien.....	390
4.1.4.1	Erneuerbarer Anteil am Bruttoendenergieverbrauch	391
4.1.4.2	Erneuerbarer Anteil am Bruttostromverbrauch	391
4.1.5	Energieeinsparung und Energieeffizienz.....	392
4.1.5.1	Reduktion des Primärenergieverbrauchs	392
4.1.5.2	Reduktion des Energiebedarfs für Gebäudewärme	393
4.1.5.3	Reduktion des Endenergieverbrauchs des Verkehrs	393
4.1.5.4	Reduktion des Bruttostromverbrauchs	394
4.1.5.5	Steigerung der Energieproduktivität	396
4.2	Klimaschutzplan 2050.....	396
4.2.1	Definition der Ziele.....	396
4.2.2	Sektorale Emissionen	397
5	Schlussfolgerungen.....	399

6 Literaturverzeichnis **Fehler! Textmarke nicht definiert.**

Anhang..... 414

 A1 Instrumententypen..... 414

 A2 Sektorzuordnungen 414

 A3 Emissionen in der Sektorzuordnung des Klimaschutzplans 2050..... 415

 A4 Bruttostromerzeugung 417

Abbildungsverzeichnis

Abbildung Z-1:	Veränderung der Treibhausgasemissionen zwischen 1990 und 2030 (ohne LULUCF und internationale Bunker).....	40
Figure S-1:	Change in GHG emissions between 1990 and 2030 (without LULUCF and international bunkers).....	51
Abbildung 1-1:	Modellübersicht zur Analyse der energiebedingten Treibhausgasemissionen	62
Abbildung 2-1:	Aktuelle Bevölkerungsprojektionen im Vergleich	65
Abbildung 2-2:	Vergleich aktueller und vergangener Projektionen des Bruttoinlandsproduktes.....	69
Abbildung 2-3:	Settlement-Preise für den EUA-Spotmarkt sowie EUA-Futures verschiedener Liefertermine, 2003–2017	72
Abbildung 2-4:	Entwicklung der durchschnittlichen CO ₂ -Emissionen von Pkw-Neuzulassungen in der EU im Zeitraum 2010-2025	76
Abbildung 2-5:	Strategie zur Dekarbonisierung des Wärmebedarfs und der Wärmeversorgung im Gebäudebereich	111
Abbildung 3-1:	Flussdiagramm zum TEMPS-Modell	143
Abbildung 3-2:	Struktur des Simulationsmodells Invert/EE-Lab	166
Abbildung 3-3:	Struktur der hinterlegten Gebäudetypologie in Invert/ EE-Lab	169
Abbildung 3-4:	Endenergiebedarfsentwicklung der Wärmebereitstellung nach Gebäudekategorien im MMS.....	170
Abbildung 3-5:	Endenergieentwicklung nach Energieträger im MMS.....	171
Abbildung 3-6:	Endenergieentwicklung nach Energieträger im MWMS (ohne KWK-Maßnahme)	175
Abbildung 3-7:	Endenergieentwicklung nach Energieträger im MEMS (ohne KWK-Maßnahme)	179
Abbildung 3-8:	Modellüberblick FORECAST-Residential (Geräte-Modul).....	189
Abbildung 3-9:	Überblick des Modells FORECAST-Industry	200
Abbildung 3-10:	Anzahl der monatlichen Förderanträge im Programm Energieberatung Mittelstand	209
Abbildung 3-11:	Annahmen zur Diffusion CO ₂ -armer Prozessinnovationen im MWMS.....	213
Abbildung 3-12:	Entwicklung der Endenergienachfrage der Industrie (ohne KWK-Wärme).....	222
Abbildung 3-13:	Vereinfachte Darstellung des „Bottom-up“-Mengengerüsts für den Sektor GHD im Modell FORECAST	225
Abbildung 3-14:	Stilllegungskalküle in ELIAS.....	230
Abbildung 3-15:	Iteration zwischen Kraftwerksstilllegung und -investition (ELIAS) und Kraftwerkseinsatz (PowerFlex)	232

Abbildung 3-16:	Wirkungsgrade von Bestandskraftwerken (Kondensations-Kraftwerke und Stromscheiben der KWK-Anlagen) nach Inbetriebnahmejahr	234
Abbildung 3-17:	Nettostromerzeugung im Mit-Maßnahmen-Szenario, 2014-2035	249
Abbildung 3-18:	Nettostromerzeugung im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario, 2014-2035	257
Abbildung 3-19:	Nettostromerzeugung im Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario, 2014-2035	264
Abbildung 3-20:	Entwicklung der Emissionen von F-Gasen im Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS)	297
Abbildung 3-21:	Entwicklung der Emissionen von F-Gasen im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS)	300
Abbildung 3-22:	Treibhausgasemissionen im LULUCF Sektor: a) Mit-Maßnahmen-Szenario; b) Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario	323
Abbildung 3-23:	Minderung der Treibhausgasemissionen im Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario gegenüber dem Mit-Maßnahmen-Szenario im LULUCF Sektor	325
Abbildung 3-24:	Primärenergieverbrauch im Mit-Maßnahmen-Szenario	333
Abbildung 3-25:	Primärenergieverbrauch im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario	336
Abbildung 3-26:	Primärenergieverbrauch im Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario	338
Abbildung 3-27:	Endenergieverbrauch nach Brennstoffen im MMS	341
Abbildung 3-28:	Endenergieverbrauch nach Sektoren im MMS	343
Abbildung 3-29:	Endenergieverbrauch nach Brennstoffen im MWMS	344
Abbildung 3-30:	Endenergieverbrauch nach Sektoren im MWMS	346
Abbildung 3-31:	Endenergieverbrauch nach Brennstoffen im MEMS	347
Abbildung 3-32:	Endenergieverbrauch nach Sektoren im MEMS	349
Abbildung 3-33:	Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen im MMS (1990–2035)	360
Abbildung 3-34:	Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen im MWMS (1990–2035)	366
Abbildung 3-35:	Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen im MEMS (1990–2035)	372
Abbildung 3-36:	Kumulierte Treibhausgasemissionen im Vergleich der Szenarien	375
Abbildung 3-37:	Komponentenanalyse für die Entwicklung der energiebedingten Treibhausgasemissionen (MMS)	377
Abbildung 3-38:	Komponentenanalyse für die Entwicklung der energiebedingten Treibhausgasemissionen (MWMS)	380
Abbildung 3-39:	Komponentenanalyse für die Entwicklung der energiebedingten Treibhausgasemissionen (MEMS)	383
Abbildung 4-1:	Veränderung der Treibhausgasemissionen zwischen 1990 und 2035 (ohne LULUCF und internationale Bunker)	389

Abbildung 4-2:	Entwicklung der erneuerbaren Anteile am Bruttostromverbrauch (BrStrV) und Bruttoendenergieverbrauch (BrEEV) (2014–2035).....	390
Abbildung 4-3:	Veränderung des Primärenergieverbrauchs (PEV), des Endenergieverbrauchs (EEV) im Verkehr zwischen 2014 und 2035 gegenüber dem jeweiligen Referenzjahr.....	392
Abbildung 4-4:	Veränderung des gesamten Bruttostromverbrauchs und des klassischen Bruttostromverbrauchs ohne neue Verbraucher zwischen 2014 und 2035 gegenüber dem Referenzjahr 2008.....	395

Tabellenverzeichnis

Tabelle Z-1	Ausgewählte demographische und wirtschaftliche Rahmendaten, 2015-2030.....	38
Tabelle Z-2:	Sektorale Treibhausgasemissionen im Vergleich zu den Sektorzielen des KSP 2050.....	40
Tabelle Z-3:	Erreichung energie- und klimapolitischer Ziele im Jahr 2030	41
Tabelle Z-4:	Bewertung der Einzelmaßnahmen im MEMS ggü. MMS	42
Table S-1:	Selected demographic and economic framework data, 2015-2030	49
Table S-2:	Sectoral GHG emissions compared to the sector targets of German Climate Action Plan 2050 (CAPlan 2050).....	51
Table S-3:	Achievement of energy and climate targets in 2030.....	52
Table S-4:	Evaluation of individual measures in WEXM compared to WEM	53
Tabelle 2-1:	Projizierte Wachstumsraten der Bevölkerung in %.....	67
Tabelle 2-2:	Durchschnittliche, jährliche Wachstumsraten des Bruttoinlandsproduktes für Deutschland in verschiedenen Projektionen, sowie Vorschläge für den Projektionsbericht 2017 in Prozent.....	68
Tabelle 2-3:	Energiepreis-Projektionen* für Rohöl, Erdgas und Steinkohle, 2015–2035	70
Tabelle 2-4:	Kostenannahmen der Braunkohleförderung für den Projektionsbericht 2017	71
Tabelle 2-5:	Annahmen zur Entwicklung der mittleren Endverbraucher-Strompreise je Sektor [Eurocent ₂₀₁₆ /kWh].....	73
Tabelle 2-6:	Verkehrsnachfrage Personenverkehr im MMS in Mrd. pkm.....	74
Tabelle 2-7:	Verkehrsnachfrage Güterverkehr im MMS in Mrd. tkm	74
Tabelle 2-8:	Verkehrsnachfrage Seeverkehr im MMS in Mrd. tkm.....	74
Tabelle 2-9:	Annahmen für die Entwicklung der Batteriesystemkosten.....	75
Tabelle 2-10:	Biokraftstoffanteile und -kennwerte im MMS	78
Tabelle 2-11:	Vergleich der Anzahl privater Haushalte verschiedener Quellen (fettgedruckt: für den Projektionsbericht 2017 verwendete Daten)	78
Tabelle 2-12:	Angenommenen Entwicklung der Wohnflächen bis zum Jahr 2035.....	79
Tabelle 2-13:	Entwicklung der Bruttowertschöpfung der Industrie je Wirtschaftszweig [Mrd. Euro ₂₀₁₀].....	80
Tabelle 2-14:	Produktionsmengen energieintensiver Grundstoffe.....	80
Tabelle 2-15:	Anzahl der Beschäftigten je Wirtschaftszweig im Sektor GHD [Mio. Beschäftigte]	82
Tabelle 2-16:	Übersicht Ökodesign-Richtlinie: Umsetzungsstand und Modellierung.....	86
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).....	141
Tabelle 3-2:	Angenommene Mautsätze in ct / km im MMS.....	145
Tabelle 3-3:	Geförderte Fahrzeuge über die Kaufprämie nach Berechnungen des TEMPS-Modells.....	145
Tabelle 3-4:	Geförderte Fahrzeuge über die Kaufprämie nach Bottom-Up Schätzung (zum Vergleich).....	145
Tabelle 3-5:	Angenommene Haushaltsausgaben für den SHHV im MMS.....	147
Tabelle 3-6:	Angenommene Mautsätze im MWMS	147
Tabelle 3-7:	Angenommene Haushaltsausgaben für den SHHV im MWMS	148
Tabelle 3-8:	Biokraftstoffanteile und -kennwerte im MWMS.....	149
Tabelle 3-9:	Einführungsschritte der Maut nach dem Mit-Erweiterten- Maßnahmen-Szenario mit den unterstellten Abgaben in €-Cent / Fzg- km	151
Tabelle 3-10:	Biokraftstoffanteile und -kennwerte im MEMS	152
Tabelle 3-11:	Endenergieverbrauch des Verkehrssektors (ohne Sonderverkehre) im MMS in PJ	153
Tabelle 3-12:	Bewertung der Einzelmaßnahmen im MMS im Sektor Verkehr, direkte Emissionsminderungen	155
Tabelle 3-13:	Nachrichtlich: Bewertung der Einzelmaßnahmen im MMS im Sektor Verkehr, direkte und indirekte Emissionsminderungen.....	156
Tabelle 3-14:	Endenergieverbrauch des Verkehrssektors (ohne Sonderverkehre) im MWMS in PJ.....	156
Tabelle 3-15:	Bewertung der Einzelmaßnahmen im MWMS im Sektor Verkehr, direkte Emissionsmin-derungen.....	158
Tabelle 3-16:	Bewertung der Einzelmaßnahmen im MWMS im Sektor Verkehr, direkte und indirekte Emissionsminderungen.....	158
Tabelle 3-17:	End-energieverbrauch des Verkehrssektors (ohne Sonderverkehre) im MEMS in PJ	159
Tabelle 3-18:	Bewertung der Einzelmaßnahmen im MEMS im Sektor Verkehr ggü. MMS, direkte Emissionsminderungen.....	160
Tabelle 3-19:	Bewertung der Einzelmaßnahmen im MEMS im Sektor Verkehr ggü. MMS, direkte und indirekte Emissionsminderungen.....	161
Tabelle 3-20:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Verkehrssektor zwischen 1990 und 2035 im Vergleich der Szenarien – nur nationale Verkehre	161
Tabelle 3-21:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Verkehrssektor zwischen 1990 und 2035 im Vergleich der Szenarien einschließlich internationalem Luft- und Seeverkehr	163
Tabelle 3-22:	Veränderung der Verkehrsleistung im Personenverkehr im Vergleich zum MMS.....	165

Tabelle 3-23:	Veränderung der Verkehrsleistung im Güterverkehr im Vergleich zum MMS.....	165
Tabelle 3-24:	Ausgestaltung des Vergleichsszenarios (OMS) zur Quantifizierung der Einzelmaßnahmenwirkung	172
Tabelle 3-25:	Einsparungen fossiler Brennstoffe.....	173
Tabelle 3-26:	Direkte Minderungen an Treibhausgasemissionen.....	173
Tabelle 3-27:	Auswirkung auf Stromnachfrage	174
Tabelle 3-28:	Ausgestaltung des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios (MWMS) sowie zentrale Annahmen für die Wirkungsabschätzung	175
Tabelle 3-29:	Zusätzliche Einsparungen fossiler Brennstoffe pro Jahr durch Änderungen der Instrumentenausgestaltung im MWMS (ohne Wirkungen auf Umwandlungssektor).....	176
Tabelle 3-30:	Zusätzliche Emissionsminderung durch Einsparung fossiler Brennstoffe pro Jahr im MWMS.....	177
Tabelle 3-31:	Zusätzliche Einsparungen bei der sektoralen Stromnachfrage durch Änderungen der Instrumentenausgestaltung im MWMS (ohne Wirkungen auf Umwandlungssektor).....	178
Tabelle 3-32:	Ausgestaltung des Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenarios (MEMS) sowie zentrale Annahmen für die Wirkungsabschätzung	179
Tabelle 3-33:	Einsparungen fossiler Brennstoffe pro Jahr im MEMS im Vergleich zum MMS durch zusätzliche Maßnahmen und Änderungen der Ausgestaltung bestehender Maßnahmen (ohne Wirkungen auf Umwandlungssektor).....	182
Tabelle 3-34:	Emissionsminderung durch Einsparung fossiler Brennstoffe pro Jahr im MEMS im Vergleich zum MMS	183
Tabelle 3-35:	Einsparungen bei der sektoralen Stromnachfrage im MEMS im Vergleich zum MMS durch zusätzliche Maßnahmen und Änderungen der Ausgestaltung bestehender Maßnahmen im (ohne Wirkungen auf Umwandlungssektor).....	183
Tabelle 3-36:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Sektor private Haushalte (Wärme- und Kältebereitstellung sowie Geräte) zwischen 1990 und 2035 im Vergleich der Szenarien.....	184
Tabelle 3-37:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Sektor GHD (Wärme- und Kältebereitstellung sowie Geräte und Prozesse) zwischen 1990 und 2035 im Vergleich der Szenarien.....	186
Tabelle 3-38:	Erwartete Entwicklung des Bestands an elektrischen Geräten in privaten Haushalten	190
Tabelle 3-39:	Erwartete Entwicklung des spezifischen Verbrauchs elektrischer Geräte in privaten Haushalten im MMS.....	191
Tabelle 3-40:	Erwartete Entwicklung des spezifischen Verbrauchs elektrischer Geräte in privaten Haushalten im MWMS	192

Tabelle 3-41:	Erwartete Entwicklung des spezifischen Verbrauchs elektrischer Geräte in privaten Haushalten im MEMS	193
Tabelle 3-42:	Entwicklung des Stromverbrauchs privater Haushalte 2010–2035 im MMS.....	193
Tabelle 3-43:	Definition der Vergleichsszenarien zur Quantifizierung der Einzelmaßnahmenwirkung	194
Tabelle 3-44:	Wirkung der strombezogenen Maßnahmen im Sektor private Haushalte - MMS	195
Tabelle 3-45:	Übersicht der Maßnahmen im Bereich private Haushalte-Strom (MWMS).....	195
Tabelle 3-46:	Entwicklung des Stromverbrauchs privater Haushalte 2010–2035 im MWMS	196
Tabelle 3-47:	Wirkung der strombezogenen Maßnahmen im Sektor private Haushalte - MWMS.....	196
Tabelle 3-48:	Übersicht der Maßnahmen im Bereich private Haushalte-Strom (MEMS)	197
Tabelle 3-49:	Entwicklung des Stromverbrauchs privater Haushalte 2010–2035 im MEMS.....	197
Tabelle 3-50:	Wirkung der strombezogenen Maßnahmen im Sektor private Haushalte - MEMS	198
Tabelle 3-51:	Branchenstruktur von FORECAST-Industry (angelehnt an AGEB)	200
Tabelle 3-52:	Übersicht der Maßnahmen im Industriesektor: Methodik und Annahmen zu Überschneidungen und Mitnahmeeffekten.....	202
Tabelle 3-53:	Zuordnung der energieintensiven Industrieprozesse und -produkte zum Emissionshandel	203
Tabelle 3-54:	Von der Strom- bzw. Energiesteuer entlastete Produktionsprozesse.....	205
Tabelle 3-55:	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, vereinfachte Darstellung	208
Tabelle 3-56:	Aufschlag auf den mittleren Industrie-Energieträgerpreis verursacht durch CO ₂ -Preis und das „Vorziehen“ der CO ₂ -Preiszeitreihe um 10 Jahre.....	215
Tabelle 3-57:	Übersicht der Maßnahmen in den Sektoren Industrie und GHD	215
Tabelle 3-58:	Wirkung der Maßnahmen im Sektor Industrie im MMS - Stromeinsparungen	217
Tabelle 3-59:	Wirkung der Maßnahmen im Sektor Industrie im MMS – Einsparungen von Brennstoffen und CO ₂ -Emissionen.....	218
Tabelle 3-60:	Übersicht der Maßnahmen in den Sektoren Industrie und GHD im MWMS	218

Tabelle 3-61:	Wirkung der Maßnahmen im Sektor Industrie im MWMS – Stromeinsparungen gegenüber dem MMS	219
Tabelle 3-62:	Wirkung der Maßnahmen im Sektor Industrie im MWMS – Einsparungen von Brennstoffen und CO ₂ -Emissionen gegenüber dem MMS.....	220
Tabelle 3-63:	Übersicht der Maßnahmen in den Sektoren Industrie und GHD im MEMS.....	220
Tabelle 3-64:	Wirkung der Maßnahmen im Sektor Industrie im MEMS – Stromeinsparungen gegenüber dem MWMS.....	221
Tabelle 3-65:	Wirkung der Maßnahmen im Sektor Industrie im MEMS – Einsparungen von Brennstoffen und CO ₂ -Emissionen gegenüber dem MWMS	221
Tabelle 3-66:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Sektor Industrie (ohne Industriekraftwerke und ohne Industrieprozesse) zwischen 1990 und 2035 im Vergleich der Szenarien	223
Tabelle 3-67:	Wirkung der Maßnahmen im Sektor GHD im MMS – Stromeinsparungen	227
Tabelle 3-68:	Wirkung der Maßnahmen im Sektor GHD im MMS – Einsparungen von Brennstoffen und CO ₂ -Emissionen.....	227
Tabelle 3-69:	Wirkung der Maßnahmen im Sektor GHD im MWMS – Stromeinsparungen gegenüber dem MMS	228
Tabelle 3-70:	Wirkung der Maßnahmen im Sektor GHD im MWMS – Einsparungen von Brennstoffen und CO ₂ -Emissionen gegenüber dem MMS.....	228
Tabelle 3-71:	Wirkung der Maßnahmen im Sektor GHD im MEMS – Stromeinsparungen gegenüber dem MWMS.....	229
Tabelle 3-72:	Wirkung der Maßnahmen im Sektor GHD im MEMS – Einsparungen von Brennstoffen und CO ₂ -Emissionen gegenüber dem MWMS	229
Tabelle 3-73:	Technische Lebensdauern der Bestandskraftwerke.....	233
Tabelle 3-74:	Parameter der KWK-Scheiben	235
Tabelle 3-75:	Kumulierter Zubau von Erdgas-KWK-Anlagen im MMS und MWMS ab 2015 (GW _{el})	237
Tabelle 3-76:	Leistungsbegrenzungen der erneuerbaren Fernwärme im MEMS	238
Tabelle 3-77:	Installierte Nettoleistung erneuerbarer Energien (MMS)	240
Tabelle 3-78:	Installierte Nettoleistung erneuerbarer Energien (MWMS).....	240
Tabelle 3-79:	Installierte Nettoleistung erneuerbarer Energien (MEMS)	241
Tabelle 3-80:	Volllaststunden zur Berechnung des Dargebots erneuerbarer Energien	241
Tabelle 3-81:	Volllaststunden zur Berechnung des Dargebots erneuerbarer Energien im MEMS	241
Tabelle 3-82:	Primärenergieeinsatz von Müll (Industriemüll, Siedlungsabfälle, Klärschlamm) im MMS.....	242

Tabelle 3-83:	Primärenergieeinsatz von Müll (Industriemüll, Siedlungsabfälle, Klärschlamm) im MWMS und MEMS	242
Tabelle 3-84:	Stromverbrauch im MMS 2008-2035	244
Tabelle 3-85:	Stromverbrauch im MWMS 2008-2035.....	245
Tabelle 3-86:	Stromverbrauch im MEMS 2008-2035	247
Tabelle 3-87:	Nettostromerzeugung im Mit-Maßnahmen-Szenario, 2014-2035	250
Tabelle 3-88:	Installierte Nettoleistungen des Stromsektors im Mit-Maßnahmen-Szenario (inkl. Kraftwerke in Kaltreserve), 2014-2035	251
Tabelle 3-89:	THG-Emissionen des Stromsektors nach Subsektoren im MMS, 1990–2035	252
Tabelle 3-90:	THG-Emissionen des Stromsektors nach Brennstoffen im MMS, 1990–2035	252
Tabelle 3-91:	CO ₂ -Minderungswirkung der einzelnen Maßnahmen im Stromsektor im MMS.....	255
Tabelle 3-92:	Nettostromerzeugung im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario, 2014-2035	257
Tabelle 3-93:	Installierte Nettoleistungen des Stromsektors im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (ohne Kraftwerke in Kaltreserve), 2014-2035.....	258
Tabelle 3-94:	THG-Emissionen des Stromsektors nach Subsektoren im MWMS, 1990–2035	259
Tabelle 3-95:	THG-Emissionen der Kraftwerke nach Brennstoffen im MWMS, 1990–2035	260
Tabelle 3-96:	Veränderung im MWMS gegenüber dem MMS (Einfluss der Maßnahmen auf die Entwicklung der fossilen Stromerzeugung)	261
Tabelle 3-97:	CO ₂ -Minderungswirkung der einzelnen Maßnahmen im Stromsektor im MWMS gegenüber dem MMS	262
Tabelle 3-98:	Nettostromerzeugung im Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario, 2014-2035	264
Tabelle 3-99:	Installierte Nettoleistungen des Stromsektors im Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (ohne Kraftwerke in Kaltreserve), 2014-2035.....	265
Tabelle 3-100:	THG-Emissionen des Stromsektors nach Subsektoren im MEMS, 1990–2035	266
Tabelle 3-101:	THG-Emissionen des Stromsektors nach Brennstoffen im MEMS, 1990–2035	267
Tabelle 3-102:	CO ₂ -Minderungswirkung der einzelnen Maßnahmen in der Energiewirtschaft im MEMS gegenüber dem MMS	268
Tabelle 3-103:	Entwicklung der THG-Emissionen der Kraftwerke zwischen 1990 und 2035 im Vergleich der Szenarien	270
Tabelle 3-104:	Mittlere CO ₂ -Emissionsfaktoren der Stromerzeugung in g CO ₂ /kWh	271

Tabelle 3-105:	Ausbau im Bereich der netzgebunden Wärme im Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario	272
Tabelle 3-106:	Energieeinsatz in der übrigen Energiewirtschaft (ohne Kraftwerke) im MMS 2014-2035	273
Tabelle 3-107:	Energieeinsatz in der übrigen Energiewirtschaft (ohne Kraftwerke) im MWMS 2014-2035.....	275
Tabelle 3-108:	Energieeinsatz in der übrigen Energiewirtschaft (ohne Kraftwerke) im MEMS 2014-2035	277
Tabelle 3-109:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen in der übrigen Energiewirtschaft zwischen 1990 und 2035 im Vergleich der Szenarien	279
Tabelle 3-110:	Relevante Quellgruppen für diffuse Emissionen aus Brennstoffen und in der Modellierung verwendete Aktivitätsraten	281
Tabelle 3-111:	Entwicklung der diffusen Emissionen aus Brennstoffen im MMS (1990-2035)	283
Tabelle 3-112:	Entwicklung der diffusen Emissionen aus Brennstoffen im MWMS (1990-2035)	284
Tabelle 3-113:	Entwicklung der diffusen Emissionen aus Brennstoffen im MEMS (1990-2035)	284
Tabelle 3-114:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen der diffusen Emissionen aus Brennstoffen zwischen 1990 und 2035 im Vergleich der Szenarien.....	285
Tabelle 3-115:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen für Industrieprozesse und Produktverwendung zwischen 1990 und 2035 im MMS.....	288
Tabelle 3-116:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen für Industrieprozesse und Produktverwendung zwischen 1990 und 2035 im MWMS	290
Tabelle 3-117:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen für Industrieprozesse und Produktverwendung zwischen 1990 und 2035 im MEMS.....	291
Tabelle 3-118:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Sektor Industrieprozesse und Produktverwendung zwischen 1990 und 2035 im Vergleich der Szenarien	293
Tabelle 3-119:	Emissionsminderungswirkung von F-Gase-orientierten Einzelmaßnahmen im MMS.....	296
Tabelle 3-120:	Entwicklung der Emissionen an fluorierten Treibhausgasen im MMS 2005-2035.....	298
Tabelle 3-121:	Emissionsminderungswirkung von F-Gase-orientierten Einzelmaßnahmen im MWMS im Vergleich zum MMS.....	299
Tabelle 3-122:	Entwicklung der Emissionen an fluorierten Treibhausgasen im MWMS 2005-2035.....	301
Tabelle 3-123:	Entwicklung der Emissionen an fluorierten Treibhausgasen aus Industrieprozessen und Produktverwendung zwischen 1995 und 2035 im Vergleich der Szenarien	302

Tabelle 3-124:	Entwicklung der Tierbestände 1990-2035, Anzahl in 1.000 bzw. 1.000 belegte Stallplätze	304
Tabelle 3-125:	Entwicklung des Einsatzes von Energiepflanzen in Biogasanlagen 1990 – 2035 in kt Trockenmasse	305
Tabelle 3-126:	Entwicklung der Methanemissionen in der Landwirtschaft 1990 – 2035 in kt CH ₄	305
Tabelle 3-127:	Entwicklung ausgewählter Aktivitätsdaten für landwirtschaftliche Böden in kt N / Jahr	305
Tabelle 3-128:	Entwicklung der Lachgasemissionen in der Landwirtschaft 1990-2035 in kt N ₂ O	306
Tabelle 3-129:	Entwicklung der Kohlendioxidemissionen in der Landwirtschaft 1990-2035 in kt CO ₂	306
Tabelle 3-130:	Entwicklung der Methan-, Lachgas- und Kohlendioxidemissionen in der Landwirtschaft 1990-2035 in kt CO ₂ -Äquivalenten	307
Tabelle 3-131:	Ausgestaltung des Vergleichsszenarios (OMS) zur Quantifizierung der Einzelmaßnahmenwirkung	307
Tabelle 3-132:	Minderungswirkungen der Einzelmaßnahmen	308
Tabelle 3-133:	Entwicklung ausgewählter Aktivitätsdaten für landwirtschaftliche Böden in kt N / Jahr	308
Tabelle 3-134:	Entwicklung der Lachgasemissionen in der Landwirtschaft 1990-2035 in kt N ₂ O	308
Tabelle 3-135:	Entwicklung der Kohlendioxidemissionen in der Landwirtschaft 1990-2035 in kt CO ₂	309
Tabelle 3-136:	Entwicklung der Methan-, Lachgas- und Kohlendioxidemissionen in der Landwirtschaft 1990-2035 in kt CO ₂ e	309
Tabelle 3-137:	Ausgestaltung des Vergleichsszenarios (OMS) zur Quantifizierung der Einzelmaßnahmenwirkung	310
Tabelle 3-138:	Minderungswirkungen der Einzelmaßnahmen	310
Tabelle 3-139:	Entwicklung ausgewählter Aktivitätsdaten für landwirtschaftliche Böden in kt N / Jahr im MEMS.....	310
Tabelle 3-140:	Entwicklung der Lachgasemissionen in der Landwirtschaft 1990-2035 in kt N ₂ O im MEMS.....	311
Tabelle 3-141:	Entwicklung der Methanemissionen in der Landwirtschaft 1990 – 2035 in kt CH ₄	311
Tabelle 3-142:	Entwicklung der Methan-, Lachgas- und Kohlendioxidemissionen in der Landwirtschaft 1990-2035 in kt CO ₂ e	312
Tabelle 3-143:	Minderungswirkungen der Einzelmaßnahmen im Landwirtschaftssektor.....	313
Tabelle 3-144:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des Sektors Landwirtschaft zwischen 1990 und 2035 im Vergleich der Szenarien	314
Tabelle 3-145:	Entwicklung der Aktivitätsdaten [1.000 ha] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035 im MMS	317

Tabelle 3-146:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen [Mt CO ₂ e] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035 im MMS	317
Tabelle 3-147:	Entwicklung der CO ₂ -Emissionen [Mt CO ₂ e] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035 im MMS	318
Tabelle 3-148:	Entwicklung der CH ₄ -Emissionen [Mt CH ₄] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035 im MMS	318
Tabelle 3-149:	Entwicklung der N ₂ O-Emissionen [Mt N ₂ O] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035 im MMS	318
Tabelle 3-150:	Ausgestaltung des Vergleichsszenarios (OMS) zur Quantifizierung der Einzelmaßnahmenwirkung	319
Tabelle 3-151:	Minderungswirkungen der Einzelmaßnahmen im MMS	319
Tabelle 3-152:	Entwicklung der Aktivitätsdaten [1.000 ha] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035 im MEMS	320
Tabelle 3-153:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen [kt CO ₂ e] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035 im MEMS	320
Tabelle 3-154:	Entwicklung der CO ₂ -Emissionen [kt CO ₂ e] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035 im MEMS	321
Tabelle 3-155:	Entwicklung der CH ₄ -Emissionen [kt CO ₂ e] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035 im MEMS	321
Tabelle 3-156:	Entwicklung der N ₂ O-Emissionen [kt CO ₂ e] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035 im MEMS	322
Tabelle 3-157:	Minderungswirkungen der Einzelmaßnahmen im MEMS gegenüber dem MMS	324
Tabelle 3-158:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des LULUCF-Sektors zwischen 1990 und 2035 im Vergleich der Szenarien	325
Tabelle 3-159:	Bewertung der Einzelmaßnahmen im MMS im Sektor Abfallwirtschaft.....	329
Tabelle 3-160:	Bewertung der Einzelmaßnahmen im MWMS im Sektor Abfallwirtschaft.....	330
Tabelle 3-161:	Bewertung der Einzelmaßnahmen im MEMS im Sektor Abfallwirtschaft als Differenz zum MMS	330
Tabelle 3-162:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des Abfallsektors zwischen 1990 und 2035 im Vergleich der Szenarien.....	331
Tabelle 3-163:	Primärenergieverbrauch im MMS 2008-2035.....	335
Tabelle 3-164:	Primärenergieverbrauch im MWMS 2008-2035	337
Tabelle 3-165:	Primärenergieverbrauch im MEMS 2008-2035	339
Tabelle 3-166:	Vergleich der Zuordnung der CRF-Sektoren 1.A.2 bis 1.A.5 und der Endenergie-Sektoren in der Energiebilanzstruktur	340
Tabelle 3-167:	Endenergieverbrauch nach Brennstoffen im MMS (2014-2035)	341
Tabelle 3-168:	Endenergieverbrauch nach Sektoren im MMS (2014-2035).....	343
Tabelle 3-169:	Endenergieverbrauch nach Brennstoffen im MWMS (2014-2035).....	344

Tabelle 3-170:	Endenergieverbrauch nach Sektoren im MWMS (2014-2035)	346
Tabelle 3-171:	Endenergieverbrauch nach Brennstoffen im MEMS (2014-2035)	347
Tabelle 3-172:	Endenergieverbrauch nach Sektoren im MEMS (2014-2035)	349
Tabelle 3-173:	Emissionsentwicklungen für die verbrennungsbedingten Treibhausgasemissionen nach Gasen, 1990–2035.....	350
Tabelle 3-174:	Entwicklung der gesamten verbrennungsbedingten Treibhausgasemissionen (inklusive internationalem Verkehr) nach Brennstoffen im MMS, 1990–2035	352
Tabelle 3-175:	Entwicklung der gesamten verbrennungsbedingten Treibhausgasemissionen (inklusive internationalem Verkehr) nach Brennstoffen im MWMS, 1990–2035.....	352
Tabelle 3-176:	Entwicklung der gesamten verbrennungsbedingten Treibhausgasemissionen (inklusive internationalem Verkehr) nach Brennstoffen im MEMS, 1990–2035	353
Tabelle 3-177:	Emissionsentwicklungen für die Treibhausgasemissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung nach Gasen, 1990–2035	354
Tabelle 3-178:	Entwicklung der gesamten Emissionen nach Treibhausgasen im MMS, 1990-2035.....	357
Tabelle 3-179:	Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen im MMS, 1990-2035.....	360
Tabelle 3-180:	Emissionsentwicklung im stationären Emissionshandel und in den ESD-Sektoren im MMS 2005-2035	362
Tabelle 3-181:	Entwicklung der gesamten Emissionen nach Treibhausgasen im MWMS, 2005-2035.....	363
Tabelle 3-182:	Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen im MWMS, 1990-2035	366
Tabelle 3-183:	Emissionsentwicklung im stationären Emissionshandel und in den ESD-Sektoren im MWMS 2005-2035.....	368
Tabelle 3-184:	Entwicklung der gesamten Emissionen nach Treibhausgasen im MEMS, 1990-2035	369
Tabelle 3-185:	Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen im MEMS, 1990-2035.....	372
Tabelle 3-186:	Emissionsentwicklung im stationären Emissionshandel und in den ESD-Sektoren im MMS 2005-2035	374
Tabelle 3-187:	Energie- und CO ₂ -Preise für die Sensitivitätsrechnung „Niedrige Preise“	375
Tabelle 3-188:	Veränderung der Stromerzeugung bei geringeren Brennstoff- und CO ₂ -Preisen im MMS.....	378
Tabelle 3-189:	Veränderung der CO ₂ -Emissionen des Stromsektors bei geringeren Brennstoff- und CO ₂ -Preisen, MMS	378

Tabelle 3-190:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen für die Sensitivitätsrechnungen (MMS)	379
Tabelle 3-191:	Veränderung der Stromerzeugung bei geringeren Brennstoff- und CO ₂ -Preisen im MWMS (Differenz)	381
Tabelle 3-192:	Veränderung der CO ₂ -Emissionen des Stromsektors bei geringeren Brennstoff- und CO ₂ -Preisen, MWMS	381
Tabelle 3-193:	Wirkung geringerer Stromexporte im MWMS	382
Tabelle 3-194:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen für die Sensitivitätsrechnungen (MWMS)	382
Tabelle 3-195:	Veränderung der Stromerzeugung bei geringeren Brennstoff- und CO ₂ -Preisen im MEMS (Differenz)	384
Tabelle 3-196:	Veränderung der CO ₂ -Emissionen des Stromsektors bei geringeren Brennstoff- und CO ₂ -Preisen, MEMS	384
Tabelle 3-197:	Wirkung geringerer Stromexporte im MEMS	385
Tabelle 3-198:	Entwicklung der Treibhausgasemissionen für die Sensitivitätsrechnungen (MEMS)	385
Tabelle 4-1:	Ziel Datensatz des Energiekonzepts 2010/2011 bzw. des Erneuerbare-Energien-Gesetzes	387
Tabelle 4-2:	Erreichung der Ziele des Energie- und Klimaschutzkonzepts 2010/2011, des Erneuerbare-Energien-Gesetzes und des aktuellen Koalitionsvertrags in den drei Szenarien	388
Tabelle 4-3:	Sektorziele aus dem Klimaschutzplan 2050	397
Tabelle 4-4:	Sektorale Treibhausgasemissionen 2030 im Vergleich zu den Sektorzielen des KSP 2050	398
Tabelle A-5-1:	Klassifikation der Instrumententypen	414
Tabelle A-5-2:	Zuordnung von CRF-Kategorien im Projektionsbericht 2017 und im Klimaschutzplan 2050	414
Tabelle A-5-3:	Entwicklung der gesamten Emissionen nach KSP-2050-Sektoren im MMS, 1990-2035	415
Tabelle A-5-4:	Entwicklung der gesamten Emissionen nach KSP-2050-Sektoren im MWMS, 1990-2035	416
Tabelle A-5-5:	Entwicklung der gesamten Emissionen nach KSP-2050-Sektoren im MEMS, 1990-2035	416
Tabelle A-5-6:	Bruttostromerzeugung im MMS (2008-2035)	417
Tabelle A-5-7:	Bruttostromerzeugung im MWMS (2008-2035)	418
Tabelle A-5-8:	Bruttostromerzeugung im MEMS (2008-2035)	419

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr („annum“)
----------	----------------

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

CCR	Carbon (Dioxide) Capture and Recycling
CCS	Carbon (Dioxide) Capture and Storage
CE	Europäische Gemeinschaft (Communauté Européenne) – Kennzeichnung
CH₄	Methan
CNG	Compressed Natural Gas
CO₂	Kohlendioxid
CO₂e	Kohlendioxid-Äquivalent, CO ₂ -Äquivalent
CP	Current Policy Scenario
CRF	Common Reporting Format in der Berichterstattung an die UNFCCC
CsgG	Carsharinggesetz
D	Forschung und Entwicklung
DB	Deutsche Bahn
DEHSt	Deutsche Emissionshandelsstelle
DENA	Deutsche Energie-Agentur
DG ECFIN	Directorate-General for Economic and Financial Affairs
DIHK	Deutscher Industrie- und Handelskammertag
DIW	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung
E	Ökonomische Instrumente
EAF	Electric Arc Furnace (Elektrolichtbogenofen)
EBS	Ersatzbrennstoff
EC	European Commission (Europäische Kommission)
EDL	Energiedienstleistungen
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EE	Erneuerbare Energien
EEA	European Environment Agency (Europäische Umweltagentur)
EED	Energieeffizienzrichtlinie (Energy Efficiency Directive)
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEV	Endenergieverbrauch
EEWärmeG	Erneuerbare-Energien-WärmegeG
EEX	European Energy Exchange
EFSI	Europäischer Fonds für strategische Investitionen
EG	Europäische Gemeinschaft
EGS	Ecosystem Goods and Services
EIA	U. S. Energy Information Administration
EKF	Energie- und Klimafonds

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

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

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

N	Stickstoff
n. V.	nicht verfügbar
NCV bzw. Hu	unterer Heizwert
N₂O	Lachgas
NA	not applicable
NACE	Statistische Systematik der Wirtschaftszweige in der europäischen Gemeinschaft (Nomenclature statistique des activités économiques dans la communauté européenne)
NAPE	Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz
NEFZ	Neuer Europäischer Fahrzyklus
NE-Metalle	Nicht-Eisen-Metalle
NER	New Entrants' reserve
NF₃	Stickstofftrifluorid
NIR	Nationaler Inventarbericht
NIR	National Inventory Report
NKI	Nationale Klimaschutzinitiative
NMVOG	non methane volatile organic compounds (Flüchtige organische Verbindungen außer Methan)
NO	not occuring
nom.	nominal
NP	New Policy Scenario
NPE	Nationale Plattform Elektromobilität
NRMM	Non-Road Mobile Machinery
NTC	Net Transfer Capacities
NTRI	Nationale Top-Runner-Initiative
NWG	Nichtwohngebäude
O	Andere
o.J.	ohne Jahr(esangabe)
ODS	Ozon Depleting Substances (ozonabbauende Stoffe)
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development
OMS	Ohne-Maßnahmen-Szenario
OPEC	Organization of the Petroleum Exporting Countries
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
ORC	Organic Rankine Cycle
ÖV	öffentlicher Verkehr
p.a.	pro anno / jährlich
PB	Projektionsbericht

PC	Personal Computer
PEV	Primärenergieverbrauch
PHEV	Plug-In Hybrid Electric Vehicle
PJ	Petajoule
Pkm	Personenkilometer
Pkw	Personenkraftwagen
ppm	parts per million
PtG	power to gas
PtH	power to heat
PtL	power to liquid
PV	Photovoltaik
QT	Transmissionswärmeverlust
R	Regulierung
REA	Rauschgasentschwefelungsanlage
RED II	Renewable Energy Directive II (Erneuerbare-Energien-Richtlinie)
REG	Regenerative Energien
RL	Richtlinie
RV	Rentenversicherung
SAR	2. IPCC Assessment Report
SESAR	Single European Sky ATM Research
SF₆	Schwefelhexafluorid
SGB	Sozialgesetzbuch
SHHV	Sofortprogramm Seehafen-Hinterlandverkehr
SKE	Steinkohleeinheit
SKI	Stromkostenintensität
SLAM	Schnellladenetz für Achsen und Metropolen
SNF	Schwere Nutzfahrzeuge
SpaEfV	Spitzenausgleich-Effizienzsystemverordnung
SSU	Straßen-, Stadt- und U-Bahnen
StBA	Statistisches Bundesamt
STEP up!	STromEffizienzPotenziale (nutzen)
StromStG	Stromsteuergesetz
SystEEem	Regenerative Energieversorgungssysteme und Integration der erneuerbaren Energien
TASi	TA Siedlungsabfall
TDI	Toluol-2,4-diisocyanat

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

Zusammenfassung

Einleitung

Für das Projekt „Verbesserung der methodischen Grundlagen und Erstellung eines Treibhausgasemissionsszenarios als Grundlage für den Projektionsbericht 2017 im Rahmen des EU Treibhausgasmonitorings“ („Politikszenerarien VIII“) wurden drei Szenarien für die Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland für den Zeitraum 2020 bis 2035 erarbeitet. Zwei dieser Szenarien haben Eingang in den Projektionsbericht 2017 gefunden:

- 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 waren. 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.
- 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) bis zu diesem Zeitpunkt noch nicht umgesetzten politischen Maßnahmen berücksichtigt.

Mit dem am 14. November 2016 durch das Bundeskabinett beschlossenen Klimaschutzplan 2050 wird ein Weg in ein weitgehend treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050 aufgezeigt (BMUB 2016b). Das bereits im Energiekonzept 2010 (Bundesregierung 2010) langfristig formulierte Treibhausgas-minderungsziel von 55 % für das Jahr 2030 wird erstmals auf die Sektoren Energiewirtschaft, Gebäude, Verkehr, Industrie, Landwirtschaft und Sonstige aufgeteilt. Der Plan soll durch Maßnahmenprogramme, die in Abstimmung mit dem Deutschen Bundestag erarbeitet werden, konkretisiert werden. Das erste Programm soll Ende 2018 beschlossen werden.

In diesem Projekt wurde daher ein weiteres Szenario entwickelt, welches als Diskussionsbeitrag für die Erarbeitung des Maßnahmenprogramms für den Klimaschutzplan 2050 dienen soll. Es stellt einen möglichen Lösungsweg dar, wie die Sektorziele bis 2030 erreicht werden können:

- c) Im Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (MEMS) wird ein Bündel von Maßnahmen vorgeschlagen, die in Summe die sektoralen Ziele für das Jahr 2030 des Klimaschutzplans 2050 der Bundesregierung (BMUB 2016b) erfüllen. Dabei wurden, gemeinsam mit dem UBA, vor allem solche Maßnahmen ausgewählt, die auf das ebenfalls für das im Klimaschutzplan 2050 formulierte „Leitbild der weitgehenden Treibhausgasneutralität bis Mitte des Jahrhunderts“ hinwirken.

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 (CO₂), Methan (CH₄), Lachgas (N₂O), teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW), Schwefelhexafluorid (SF₆) und Stickstofftrifluorid (NF₃) für die Quellsektoren Energie, Industrie, Gebäude, Verkehr, 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 Treibhausgasemissionen verdichtet wurden. 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 CO₂-, CH₄- und N₂O-Emissionen angestellt. Für ausgewählte andere Quellbereiche (HFKW-, FKW- und SF₆-Emissionen sowie die Landwirtschaft und Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft [LULUCF]) wurden Ergebnisse anderer Untersuchungen übernommen bzw. aufgearbeitet.

Rahmendaten

Für die Entwicklung der Energiebedarfs- und Emissionsszenarien spielt eine Reihe wichtiger Rahmensezungen 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 (EU 2013) gefolgt. Darüber hinaus wurden Daten verwendet, die bis zum 31. Juli 2016 veröffentlicht wurden. Daten, die nach diesem Datum erschienen sind, konnten aus Konsistenzgründen der Szenarien in der Modellierung nicht mehr berücksichtigt werden. Tabelle Z-1 zeigt die wichtigsten Rahmendaten für die Szenarien im Überblick.

Der Szenarienentwicklung liegt eine demographische Entwicklung zugrunde, in der die deutsche Wohnbevölkerung kontinuierlich bis 2030 leicht zurückgeht, so dass für das Jahr 2030 79,7 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 2030 ein relativ stetiges Wachstum unterstellt. Die Bruttowertschöpfung im verarbeitenden Gewerbe nimmt im Zeitraum 2015 bis 2030 von 473 Mrd. €₂₀₁₀ auf 533 Mrd. €₂₀₁₀ 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. Der Preis für Rohöl wird im Jahr 2030 deutlich über dem Preis des Jahres 2015 liegen.

Hinsichtlich der Preise für EU-Emissionsberechtigungen liegt den Szenarien ein leicht steigender Preis zu Grunde, der im Jahr 2030 ein Niveau von 33 € je EUA (real, Preisbasis 2013) erreicht. Für das MMS und das MWMS werden die gleichen EUA-Preise für die Projektionen in Ansatz gebracht. Im MEMS wird der CO₂-Zertifikatspreise in den Jahren 2020 und 2025 leicht erhöht.

Tabelle Z-1 Ausgewählte demographische und wirtschaftliche Rahmendaten, 2015-2030

	2015	2020	2025	2030
Demographische Entwicklung				
Wohnbevölkerung (in Mio.)	81,4	80,6	80,3	79,7
Private Haushalte (in Mio.)	40,1	40,9	41,1	41,3
Wirtschaftliche Entwicklung				

	2015	2020	2025	2030
Bruttoinlandsprodukt (Mrd. € ₂₀₁₀) ¹	2.783	2.968	3.120	3.246
Bruttowertschöpfung des verarbeitenden Gewerbes (Mrd. € ₂₀₁₀)	473	498	519	533
Beschäftigte im Dienstleistungssektor (in Mio.)	28,8	29,3	29,6	29,9
Primärenergieträgerpreise (€₂₀₁₃/GJ H_i)				
Rohöl	8,2	12,8	14,5	16,0
Steinkohle	2,4	2,4	2,9	3,5
Erdgas	6,1	7,5	8,1	8,8
CO₂-Zertifikatspreise (€/EUA)				
MMS und MWMS	7,5	15,0	22,5	33,5
MEMS	7,5	17,5	27,5	33,5

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

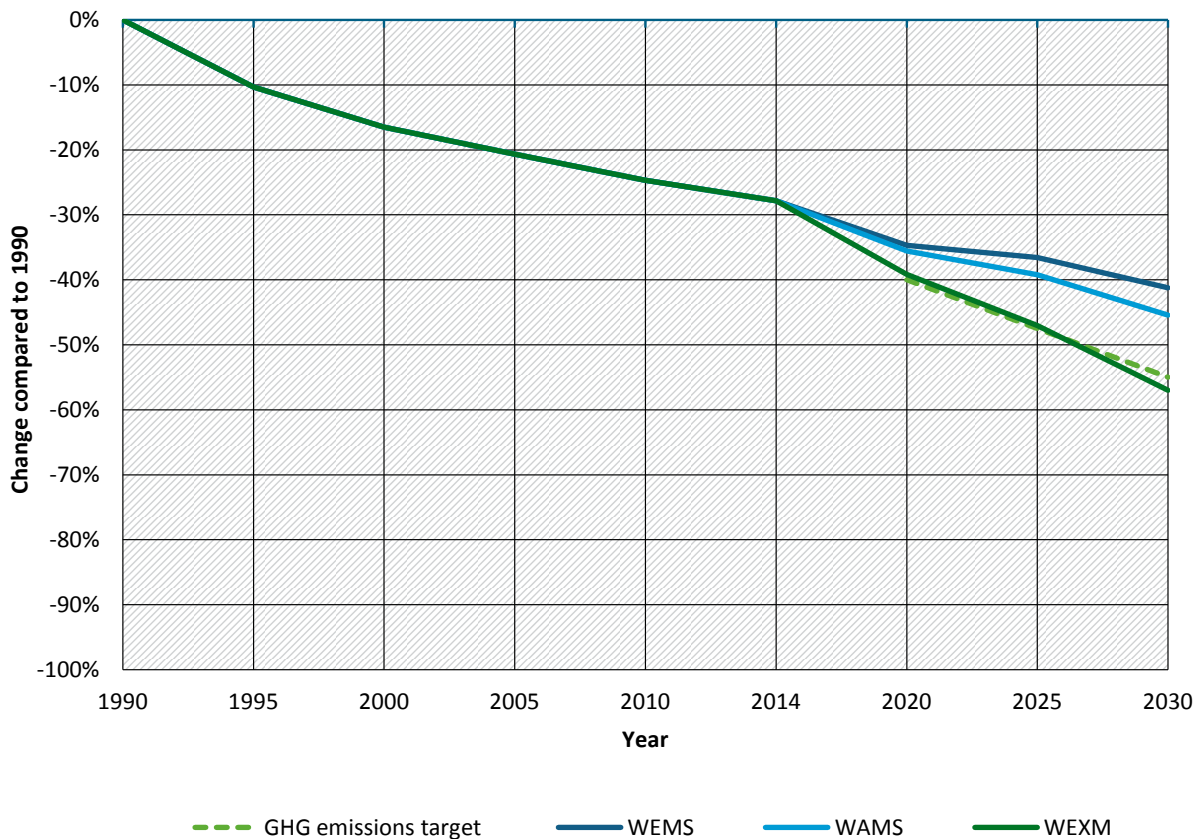
Erreichung der THG-Minderungsziele und weiterer klima- und energiepolitischer Ziele

In Abbildung Z-1 wird dargestellt, wie sich die Emissionen in den drei Szenarien bis 2030 entwickeln. Zudem ist in dieser Abbildung der Emissionszielpfad aus dem Klimaschutzplan 2050 als gestrichelte Linie dargestellt (Annahme: lineare Minderung bis 2030).

Es ist deutlich zu sehen, dass die Emissionen im MEMS bereits bis 2020 deutlich stärker sinken als im MMS und MWMS und sich im Laufe der Zeit mehr und mehr von diesen entfernen. Im Jahr 2030 wird im MMS eine Minderung von 41,2 % gegenüber 1990 erzielt, im MWMS eine Minderung von 45,5 %. Im MEMS beträgt die THG-Minderung im Jahr 2030 57,0 %, womit das im Klimaschutzplan für 2030 formulierte Ziel leicht übertroffen wird.

¹ 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.

Abbildung Z-1: Veränderung der Treibhausgasemissionen zwischen 1990 und 2030 (ohne LULUCF und internationale Bunker)



Quelle: UBA 2016a, 2016b, BMUB 2016b, Berechnungen Öko-Institut und Fraunhofer ISI

Die sektorale Emissionsentwicklung in den Szenarien ist in Tabelle Z-2 für die Jahre 2025 und 2030 dargestellt und den Zielen für das Jahr 2030 aus dem Klimaschutzplan 2050 gegenübergestellt. Im MMS und MWMS werden in keinem Sektor die Ziele des Klimaschutzplans für 2030 erreicht. Hingegen werden im MEMS, wie geplant, die Ziele eingehalten. Ausnahme bildet der Verkehrssektor, in dem das Ziel um 0,3 Mt CO₂ knapp verfehlt wird. Die sektorale Emissionsentwicklung für weitere Jahre ist in Kapitel 3.4 beschrieben.

Tabelle Z-2: Sektorale Treibhausgasemissionen im Vergleich zu den Sektorzielen des KSP 2050

Sektor	Modellierte Emissionen 2025			Modellierte Emissionen 2030			Emissionsziel 2030 laut KSP 2050	
	MMS	MWMS	MEMS	MMS	MWMS	MEMS	Mt CO ₂	Minderung ggü. 1990
Energiewirtschaft	303,4	281,0	215,0	276,0	240,7	164,0	175 – 183	62 – 61 %
Gebäude	98,0	96,9	91,4	86,6	84,3	70,2	70 – 72	67 – 66 %
Verkehr	151,4	148,4	129,8	148,7	137,6	98,3	95 – 98	42 – 40 %
Industrie	162,5	158,7	156,4	148,3	147,0	140,8	140 – 143	51 – 49 %
Landwirtschaft	70,8	68,7	63,6	69,0	66,9	59,8	58 – 61	34 – 31 %
Teilsomme	786,1	753,6	656,2	728,7	676,6	533,0	538 – 557	56 – 54 %
Sonstige	6,9	6,3	6,1	6,0	5,2	4,8	5	87 %

Sektor	Modellierte Emissionen 2025			Modellierte Emissionen 2030			Emissionsziel 2030 laut KSP 2050	
	MMS	MWMS	MEMS	MMS	MWMS	MEMS	Mt CO ₂	Minderung ggü. 1990
Gesamtsumme	793,0	759,9	662,3	734,7	681,8	537,7	543 – 562	56 – 55 %
Minderung ggü. 1990	-36,6%	-39,2%	-47,0%	-41,2%	-45,5%	-57,0%		
Nachrichtlich: LULUCF	11,2	11,2	-4,5	19,2	19,2	-18,2		

Quelle: BMUB 2016b, historische Daten aktualisiert entsprechend UBA 2016a, 2016b, Berechnungen Öko-Institut und Fraunhofer ISI

Anmerkung: Durch das Runden von Nachkommastellen kann es eine leichte Abweichung zwischen der Summe der gezeigten Sektoregebnissen und der Gesamtsumme geben

Zur Einordnung der Ergebnisse wurde die Sensitivität bezüglich der Annahmen zur demographischen und wirtschaftlichen Entwicklung analysiert. Dafür wurde einerseits das angenommene Wirtschaftswachstum erhöht, andererseits eine höhere Bevölkerung angenommen. Der sich ergebende Effekt ist klein im Vergleich zu den Gesamtemissionen und liegt für alle Szenarien und Jahre im Bereich von maximal einem Prozentpunkt der Emissionsminderung gegenüber 1990; es sind also im Wesentlichen die Maßnahmen und nicht die Rahmendaten, von denen die Veränderung abhängt. Zusätzlich wurde für den Stromsektor der Effekt eines langfristig niedrigen Preisniveaus für Energieträger und CO₂-Emissionsberechtigungen berechnet. Auch hier ist der Effekt minimal: Die Annahmen führen zu keiner nennenswerten Veränderung der Emissionen in der Stromerzeugung, da die niedrigeren CO₂-Preise den Vorteil der geringeren Preise für Steinkohle und Erdgas ausgleichen und somit nur geringe Verschiebungen in der Merit Order beobachtet werden.

Für das Jahr 2030 wurden im Energie- und Klimaschutzkonzept der Bundesregierung (Bundesregierung 2010) neben Zielen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen auch Ziele für die Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien und zur Steigerung der Energieproduktivität formuliert, siehe Tabelle Z-3.

Tabelle Z-3: Erreichung energie- und klimapolitischer Ziele im Jahr 2030

Größe	Ziel für 2030	Ergebnis MEMS
Reduktion der Treibhausgasemissionen gegenüber 1990	55 %	57 %
Erneuerbarer Anteil am Bruttoendenergieverbrauch	30 %	31 %
Erneuerbarer Anteil am Bruttostromverbrauch	65 %	69 %
Steigerung der Energieproduktivität	2,1 % p.a.	3,7 % p.a.

Quelle: Bundesregierung 2010 und Berechnungen Öko-Institut & Fraunhofer ISI

Im MEMS wird das Ziel der Steigerung des erneuerbaren Anteils am Bruttostromverbrauch deutlich übererfüllt. Ebenso liegt der erneuerbare Anteil am Bruttoendenergieverbrauch etwas höher als das Ziel. Deutlich gesenkte Energieverbräuche in den einzelnen Sektoren führen dazu, den Primärenergieverbrauch bis 2030 um 35 % gegenüber 2008 zu senken und die Energieproduktivität so um 3,7 % pro Jahr zu steigern.

Klima- und energiepolitische Maßnahmen des MEMS

Tabelle Z-4 gibt einen Überblick über alle Maßnahmen des MEMS, die in den Sektoren untersucht wurden und einen Beitrag zur Zielerreichung liefern. Die Maßnahmen sind dort aufgeführt, wo sie die meiste Wirkung erzielen, auch wenn sie auf mehrere Sektoren wirken.

Tabelle Z-4: Bewertung der Einzelmaßnahmen im MEMS ggü. MMS

Sektor	Maßnahme	Direkte Emissionsminderung [Mt CO ₂]		
		2020	2025	2030
Energiewirtschaft	Stromeinsparungen durch Maßnahmen in anderen Sektoren	2	3	8
	Weiterentwicklung des EEG	7	14	25
	KWK und erneuerbare Wärme ²	-1	7	9
	Weiterentwicklung des ETS	0,4	-1	-
	Dekarbonisierung der Stromerzeugung	40	62	63
Industrie³	KfW Effizienzprogramm Weiterentwicklung	0,2	0,3	0,4
	Mindeststandards: Neue Lose	0,2	0,2	0,2
	CO ₂ -arme Industrieprozesse	0	0,1	0,4
	Wettbewerbliche Ausschreibung (STEP up! Wärme)	0,3	0,6	0,7
	Verschärfung MEMS: Energieeffizienzverpflichtungssystem ⁴	1,9	3,8	5,6
	Neu MEMS: Pilotprogramm Einsparzähler ⁵	-	-	-
Gebäude	Neu MEMS: Mindeststandards EU Ökodesign BVT ⁵	-	-	-
	Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien	0	1,3	2,6
	Energieeffizienzverpflichtungssystem	0	0,5	1,2
	Anreizprogramm Energieeffizienz, Förderprogramm Heizungsoptimierung und Nationales Effizienzlabel für Heizungsanlagen	0	0,2	0,4
	Energieeinsparverordnung (EnEV)	0	0	0
	Neu MEMS: Neugestaltung der Förderprogramme zur energetischen Gebäudesanierung	0	0,9	1,9
	Neu MEMS: Steuerliche Abschreibung energetischer Sanierungsmaßnahmen	0,4	2,1	3,9
Neu MEMS: EnEV: Verschärfung ordnungsrechtlicher Anforderungen an Neubauten und Bestandsgebäuden inkl. Nachrüstpflichten für Heizkessel	0,1	0,7	1,3	

² Inklusive Minderungswirkung der ungekoppelten Fernwärme aus der sonstigen Energiewirtschaft.

³ Emissionen aus KWK sind im Ziel enthalten, Maßnahmen sind unter Energiewirtschaft zu finden.

⁴ In einem Energieeffizienzverpflichtungssystem (auch bezeichnet als „Weiße Zertifikate“-System) wird eine Gruppe von Akteuren (üblicherweise Energieversorgungsunternehmen oder Netzbetreiber) verpflichtet, eine bestimmte Menge an Einsparungen in einem festgelegten Zeitraum zu erzielen. Der Verpflichtete kann die Einsparungen entweder selbst durch die Initiierung eigener Einsparmaßnahmen oder durch den Erwerb von Weißen Zertifikate von Dritten erbringen.

⁵ Minderungswirkung findet in der Energiewirtschaft statt („Stromeinsparungen durch Maßnahmen in anderen Sektoren“).

Sektor	Maßnahme	Direkte Emissionsminderung [Mt CO ₂]		
		2020	2025	2030
	Neu MEMS: EE-Wärme Nutzungspflicht im Gebäudebestand	0,3	1,6	2,7
• Maßnahmen GHD-Gebäude	Neu MEMS: Förderung NT-Wärmenetze	0,1	0,5	1,0
	Energieeffizienzverpflichtung, Novellierung des „Impulsprogramm gewerbliche Kälte- und Klimaanlage“, Mindeststandards: Neue Lose, KfW Effizienzprogramm Weiterentwicklung	0,1	0,7	1,5
	Neu MEMS: Pilotprogramm Einsparzähler, Mindeststandards EU Ökodesign BVT			
• Maßnahmen der privaten Haushalte – Strom ⁵	Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung (EnVKV), Verschärfung der Mindeststandards nach EU-Ökodesign-Richtlinie, Energieeffizienzverpflichtungssystem	-	-	-
Verkehr	Weitere Ausweitung Lkw-Maut	0,2	0,6	0,6
	Energieeffiziente Nutzfahrzeuge	0,6	0,6	0,8
	Stärkung des Schienenverkehrs	0	0	0,1
	Fortschreibung CO ₂ -Standards (nach 2020)		2,4	11,4
	Anpassung THG-Quote und fortschrittliche Biokraftstoffe	-0,2	-0,7	-1,2
	Verschärfung MEMS: Fortschreibung CO ₂ -Standards		8,1	21,1
	Verschärfung MEMS: Kraftstoffquote Biofuels und PtG/PtL, Einpreisung von Mehrkosten	0,2	0,9	1,5
	Neu MEMS: Straßennetzweite, fahrleistungsbezogene Maut für alle Fahrzeuge		5,1	11,3
	Neu MEMS: Oberleitungsinfrastruktur für Lkw		0,3	1,7
	Neu MEMS: ÖPNV Finanzierung		0	0,1
	Neu MEMS: Förderung des Radverkehrs		0,3	0,4
	NEU: Tempolimit		3,1	2,7
Landwirtschaft	Mehr Gülle in Biogasanlagen	0,2	0,6	1,2
	Verschärfung der Düngeverordnung	2,0	2,3	2,6
	Einsatz von Inhibitoren		2,2	2,2
	Wiedervernässung von Mooren (N ₂ O)	0,03	0,6	1,1
	Ausbau Ökolandbau	0,2	0,3	0,5
	Flächenrückgang	0,03	0,4	0,7
Abfall	Deponiebelüftung (NKI) - Intensivierung und Fortführung	0	0,4	0,6
LULUCF	Waldbewirtschaftung	14,3	16,6	15,8
	Moorschutz	0	5,5	11,1
	Torfabbau gestoppt	0	1,0	2

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

Anmerkungen: Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A-5-1 im Anhang des Gesamtberichts; Maßnahmen sind dem Sektor zugeordnet, in welchem sie hauptsächlich wirken

Im Folgenden wird für jeden Sektor kurz beschrieben, welche Maßnahmenbündel für das MEMS entwickelt wurden, um das Sektorziel zu erreichen. Darüber hinaus wird kurz auf die wirkungsvollsten Maßnahmen des Bündels eingegangen.

ENERGIEWIRTSCHAFT

In der Energiewirtschaft zeigt sich im MMS und MWMS ein Rückgang der Emissionen auf etwa 276 bzw. 240,7 Mt CO₂ in 2030, welche aber noch deutlich über dem Sektorziel von 175 – 183 Mt CO₂ liegen. Die bereits eingeleiteten Maßnahmen wie die Weiterentwicklung des EEG sowie die Dekarbonisierung der Stromerzeugung müssen daher gegenüber dem aktuellen Umsetzungsstand verschärft und schneller bzw. ambitionierter angegangen werden. Dies wird im MEMS wie folgt abgebildet:

- ▶ Die Dekarbonisierung der Stromerzeugung wird durch eine Begrenzung der jährlichen Emissionen von Braun- und Steinkohlekraftwerken, welche länger als 20 Jahre in Betrieb sind, sowie einem Kapazitätsmanagement für ältere Anlagen erreicht. Dies führt zu einer Minderung von 63 Mt CO₂ in 2030 gegenüber dem MMS.
- ▶ Begleitend wird der Ausbau der erneuerbaren Energien, v.a. bei Windenergie an Land sowie Photovoltaik, mit höheren Zubauraten vorangetrieben. Dadurch ergibt sich in 2030 eine Minderung von 25 Mt CO₂ gegenüber dem MMS.

INDUSTRIE

Bereits im MMS und MWMS zeigt sich für den Industriesektor ein kontinuierlicher Rückgang der Emissionen, die bis 2030 auf etwa 147 Mt CO₂ (MWMS) fallen und damit noch 4 Mt CO₂ über dem Sektorziel für die Industrie liegen (Sektorziel: 140-143 Mt CO₂). Erreicht wird dieser Rückgang über eine rasche Verbesserung bei der Energieeffizienz und einen langsam voranschreitenden Brennstoffwechsel hin zu weniger CO₂-intensiven Energieträgern bei gleichzeitig kontinuierlicher Entwicklung der Produktion in der Grundstoffindustrie und einem leichten strukturellen Wandel hin zu höheren Anteilen der Sekundärproduktionsrouten (z.B. Elektrostahl). Auch der Rückgang bei F-Gasen in Kältemitteln trägt zur Minderung bei. Diese Entwicklung spiegelt den stark auf Energieeffizienz ausgerichteten Instrumentenmix in MMS und MWMS wider. Effizienzpotenziale werden durch eine ambitionierte Umsetzung der Maßnahmen bis 2030 weitestgehend ausgeschöpft. Anreize zum Einsatz CO₂-armer Energieträger sind jedoch nur geringfügig über den EU Emissionshandel vorhanden. Hier setzt das MEMS an.

Im MEMS wird der Instrumentenmix des MWMS erweitert und um stärkere Anreize zum Wechsel auf CO₂-arme Energieträger bzw. Erneuerbare Energien ergänzt. Hiermit soll die verbleibende Lücke zum Erreichen des Sektorziels von 4-7 Mt CO₂ in 2030 geschlossen werden.

- ▶ Ein zentrales Instrument ist ein CO₂-Aufschlag in der Energiesteuer, also eine Erhöhung der Energiesteuer in Form eines Aufschlages mit der Bemessungsgrundlage CO₂-Gehalt. Diese CO₂-Steuer wird auf das Niveau des angenommenen Preispfades für EUAs des Emissionshandels gesetzt und gilt für alle Unternehmen/Energieverbräuche, die nicht dem Emissionshandel unterliegen. Für Unternehmen im Emissionshandel stellt dieser CO₂-Aufschlag eine Art „Carbon Floor-Price“ dar. Diese Minderung der Unsicherheiten bezüglich der zukünftigen Entwicklung des CO₂-Preises bedeutet für die Unternehmen eine höhere Planungssicherheit bei der Investition in F&E sowie Demonstrations- und Pilotanlagen.
- ▶ Zusätzlich wird das Energieeffizienzverpflichtungssystem um eine Förderung des Einsatzes von Erneuerbaren Energien zur Prozesswärmeerzeugung ergänzt.

Mit diesen Maßnahmen wird das Sektorziel des Klimaschutzplans für die Industrie erreicht. Es ist zu bedenken, dass bezüglich wirtschaftlicher Entwicklung sowie Maßnahmenwirkung große Unsicherheiten bestehen. Werden Maßnahmen weniger ambitioniert umgesetzt oder wächst die Grundstoffindustrie schneller, so würde dies ein Erreichen des Sektorziels erschweren.

GEBÄUDE

Für die Erreichung des Sektorziels des Gebäudebereichs ist eine integrierte Strategie von Förderinstrumenten, ordnungs- und planungsrechtlichen Vorgaben sowie informatorischen Instrumenten erforderlich. Diese werden im MEMS sektorübergreifend definiert und als Instrumentenbündel stimmig ausgestaltet. Die Maßnahmen führen zu einer weitgehenden Reduktion des Wärmebedarfs (Energy Efficiency First). Im Zentrum stehen dabei die verstärkte Nutzung von Sanierungsanlässen und ambitionierte sowie zielkonforme Sanierungsmaßnahmen und die Umstellung der Wärmeversorgung auf dezentrale und wärmenetzbasierte erneuerbare Energien.

- ▶ Konkret besteht das Maßnahmenbündel aus Maßnahmen, die gegenüber dem aktuellen Umsetzungsstand verschärft und schneller bzw. ambitionierter angegangen werden (insbesondere die KfW-Programme für energieeffizientes Bauen und Sanieren, das Marktanzreizprogramm, das Programmbündel aus dem Anreizprogramm Energieeffizienz, dem Förderprogramm Heizungsoptimierung und dem Nationalen Effizienzlabel für Heizungsanlagen sowie die Energieeinsparverordnung). Hinzu kommt eine Reihe neuer Maßnahmen, insbesondere die steuerliche Förderung der Gebäudesanierung, die Einführung einer Gebäude-Klimaabgabe sowie sektorübergreifend die Einführung eines CO₂-Aufschlages in der Energiesteuer sowie eines Energieeffizienzverpflichtungssystem.
- ▶ Bei der Einsparung an fossilen Brennstoffen sowie den damit einhergehenden Treibhausgasemissionen ist die steuerliche Abschreibung energetischer Sanierungsmaßnahmen die wirkungsmächtigste der quantifizierbaren Maßnahmen, gefolgt von der Ausweitung der Nutzungspflicht für EE-Wärmeerzeuger für bestehende Gebäude sowie einer Ausweitung des MAP.
- ▶ Werden die Förderbedingungen des KfW-Programms „Energieeffizient Sanieren“ so modifiziert, dass sich der KfW-70-Standard als Leitstandard der Gebäudesanierung etabliert, führt dies bis zum Jahr 2030 zu verhältnismäßig geringen zusätzlichen Einsparungen. Mit der Maßnahme würden allerdings im Vergleich zur heutigen Förderarithmetik wesentlich „zielkonformere“ Einsparungen angereizt. Angesichts der langen Reinvestitionszyklen im Gebäudesektor leistet die Maßnahme also einen wichtigen Beitrag, energetische Sanierungen gleich auf ein Effizienzniveau zu führen, welches mit den übergeordneten Zielen der Transformation im Gebäudesektor vereinbar ist.

VERKEHR

Mit dem Klimaschutzplan gibt es erstmals ein Sektorziel für die THG-Emissionen des Verkehrs in Deutschland. Mit einer Reduktion um 40 -42 % gegenüber 1990 ist dieses Ziel als ambitioniert einzuschätzen – insbesondere vor dem Hintergrund, dass die THG-Emissionen in den letzten Jahren wieder angestiegen sind und in 2017 mit rund 170 Mt CO₂ höher lagen als im Basisjahr 1990. Zur Zielerreichung (95 bis 98 Mt CO₂ im Jahr 2030) sind Effizienzsteigerungen bei neu zugelassenen Fahrzeugen ein zentraler Baustein, reichen aber alleine nicht aus. Auch die Nutzerkosten der Pkw müssen erhöht werden. Um die Ziele in dem verhältnismäßig geringen Zeitrahmen von 12 Jahren zu erreichen, ist eine zeitnahe Planung und Umsetzung der Instrumente erforderlich.

- ▶ Die mit Abstand wirkmächtigste Maßnahme sind sehr ambitionierte CO₂-Standards für Pkw. Der herstellerepezifische Flottenzielwert für Pkw wird im MEMS auf 20 g pro km (nach NEFZ) in 2030 abgesenkt. Zusätzlich wird eine maximale Abweichung des Kraftstoff-Realverbrauchs von 15 % zu den Herstellerangaben ab 2025 angenommen. Durch dieses Instrument kommt es zu einer deutlichen Elektrifizierung bei Pkw und der Anteil der elektrischen Fahrleistung bei den Pkw-Neuzulassungen im Jahr 2030 steigt auf 60 %. Falls die EU-Emissionsstandards für Pkw weniger ambitioniert ausfallen als im Szenario angenommen, müssten auf nationaler Ebene zusätzliche Instrumente (z.B. E-Fahrzeug-Quote, CO₂-abhängige Erstzulassungssteuer) umgesetzt werden, um den im MEMS erzielten Markthochlauf der Elektromobilität dennoch zu erreichen.

- ▶ Für die schweren Nutzfahrzeuge wird eine Reduktion des Treibstoffbedarfs um 30 % bis 2030 bei den Neuzulassungen (von Diesel-Lkw) erreicht. Gleichzeitig wird im MEMS-Szenario durch den Einsatz von Oberleitungs-Lkw bereits im Jahr 2030 eine Reduktion der CO₂-Emissionen des Schwerlastverkehrs erreicht.
- ▶ Die Änderungen an der Lkw-Maut und die Einführung einer fahrleistungsabhängigen Pkw-Maut stellen die zweite wesentliche Stellschraube dar. Ab 2025 wird im MEMS die Infrastrukturabgabe netzweit und für alle Fahrzeuge – also auch den Personenverkehr – erhoben. Zudem werden im Güterverkehr und ab 2025 auch im Personenverkehr mehr Externalitäten in der Mauterfassung mit erhoben. Hierunter fallen Umweltkosten wie z.B. Luftschadstoffe, CO₂-Emissionen und Lärm. Alternativ zur Pkw-Maut wäre auch eine deutliche Erhöhung der Energiesteuern denkbar – diese müsste allerdings sehr hoch ausfallen, um eine ähnliche Wirkung zu erzielen.
- ▶ Flankierend zu den genannten Handlungsfeldern (Effizienz neuer Fahrzeuge/Elektromobilität, Erhöhung Nutzerkosten des MIV) sind Instrumente zur Förderung von ÖV, Schiene und Radverkehr notwendig, um die Verlagerungsimpulse auch infrastrukturell und angebotsseitig aufnehmen zu können und die Verlagerungspotenziale so zu heben.

LANDWIRTSCHAFT

Die bisherigen THG-Minderungen in der Landwirtschaft konnten v.a. bis 2005 realisiert werden, seitdem stagnieren die Emissionen bzw. steigen sogar wieder leicht an. Mit dem Klimaschutzplan gibt es für diesen Sektor erstmals ein verbindliches Minderungsziel bis 2030. Zu dessen Erreichung ist eine Trendwende erforderlich und damit die Einführung ambitionierter Maßnahmen:

- ▶ Im Bereich technischer Minderungsmaßnahmen wird im MEMS vor allem die Güllevergärung verstärkt, sowie die Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern optimiert. Bei den landwirtschaftlichen Böden liegt der Schlüssel in der Verringerung der Stickstoffüberschüsse. Der neuen Düngeverordnung werden bereits eine Optimierung des Düngemitelesinsatzes sowie eine Erhöhung der Effizienz von Wirtschaftsdüngern und Gärresten zugeschrieben. Zur Zielerreichung ist hier allerdings eine weitere Verschärfung notwendig.
Ein erhebliches Minderungspotenzial von 2,2 Mt CO₂e wird für den Einsatz von Nitrifikationshemmstoffen quantifiziert. Obwohl in der Praxis zugelassen und in vielen Studien mit hohen Minderungspotenzialen belegt, ist die Anwendung allerdings umstritten, da die Umweltauswirkung z.B. auf Gewässer und Gewässerqualität nicht ausreichend geklärt ist. Zur abschließenden Bewertung ist eine verbesserte Datenlage hier dringend erforderlich.
- ▶ Zur Zielerreichung sind bis 2030 einige strukturelle Änderungen der Bewirtschaftung notwendig, wie z.B. der Ausbau des Ökolandbaus und die Wiedervernässung der Moore. Auch geht ein erheblicher Teil landwirtschaftlicher Produktionsfläche bereits im MEMS bis zum Jahr 2030 aus der Nutzung.
- ▶ Minderungsoptionen durch einen Abbau der Tierbestände werden bis zum Jahr 2030 nicht berücksichtigt. Da für die Zielerreichung bis 2030 alle bisher verfügbare Minderungsoptionen im technischen und im Managementbereich fast vollständig ausgeschöpft werden, fehlt im Hinblick auf das bestehende Langfristziel im Jahr 2050 damit der Spielraum für weitere Emissionsreduktionen. Damit ist absehbar, dass Emissionsreduktionen langfristig im Bereich der Tierhaltung stattfinden müssen und eine Abstockung der Tierbestände zur Zielerreichung erscheint unvermeidbar. Dieser Schritt muss frühzeitig vermittelt, diskutiert und vorbereitet werden – auf der Nachfrageseite wie auf der Produzentenseite.

SONSTIGE

Im Abfallsektor wurden bereits in der Vergangenheit weitreichende Emissionsreduktionen durch stringente Vorgaben und Synergien mit anderen Umweltzielen erreicht. Die aktuelle Emissionsreduktion gegenüber 1990 beträgt bereits 73 %. Durch den Einsatz technischer Maßnahmen wie der Deponiebelüftung können weitere Emissionsreduktionen erzielt und die Sektorziele für das Jahr 2030 erreicht werden.

LULUCF (NACHRICHTLICH)

Im Sektor Land Use, Land Use Change and Forestry (LULUCF) werden THG-Quellen und THG-Senken bilanziert, die durch die Nutzung der gesamten Landfläche in Deutschland entstehen. Die Herausforderung im LULUCF-Sektor besteht zum einen darin, Emissionen aus Flächentypen mit hohen Emissionen, wie landwirtschaftliche Flächen auf Moorböden und Torfabbaufächen, in unkritische Nutzungen zu überführen. Zum anderen ist anzustreben, die CO₂-Einlagerung in Waldflächen (Senken) aufrecht zu erhalten. Dies wird im MEMS wie folgt abgebildet:

- ▶ Die Maßnahme Waldbewirtschaftung wirkt auf der gesamten Waldfläche in Deutschland und erreicht, dass in Wäldern der Holzvorrat aufgebaut wird (Senke). Dies führt zu einer starken THG-Minderung von 14,3 bis maximal 16,6 Mt CO₂e/Jahr.
- ▶ Die Maßnahme Moorschutz adressiert die Wiedervernässung von landwirtschaftlichen Flächen auf Moorstandorten. Moorstandorte auf landwirtschaftlichen Flächen nahmen in 2015 7,3% ein. Da jedes Jahr ein weiterer Anteil der Moorstandorte im MEMS wiedervernässt wird, steigt die THG-Minderung kontinuierlich an und erreicht im Jahr 2030 11,1 Mt CO₂e/Jahr.

Mit der Maßnahme „Torfabbau stoppen“ wird bis 2030 der Torfabbau in Deutschland eingestellt. Damit wird eine THG-Minderung von 2,0 Mt CO₂e/Jahr bis 2030 erreicht. Diese Maßnahme setzt aber voraus, dass gleichzeitig der Einsatz von Torfersatzstoffen ausgebaut wird, um eine Verdrängung des Torfabbaus ins Ausland zu vermeiden.

Fazit

Die vorliegenden Szenarien zeigen, dass weder mit den bereits implementierten Klimaschutzmaßnahmen (Mit-Maßnahmen-Szenario) noch mit den derzeit konkret geplanten Maßnahmen (Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario) die deutschen Treibhausgasminderungsziele erreicht werden. Auch werden die meisten energiepolitischen Ziele der Bundesregierung verfehlt. Zur Erreichung der energie- und klimapolitischen Ziele sind daher darüber hinausgehende Maßnahmen nötig.

Das MEMS (Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario) ist ein Beitrag aus der Wissenschaft, der für die anstehenden Diskussionen bei der Erarbeitung des Maßnahmenprogramms für den Klimaschutzplan genutzt werden kann. Es zeigt einen Lösungsweg auf, wie ein Bündel an Maßnahmen zur Erreichung der energie- und klimapolitischen Ziele, insbesondere der sektoralen Emissionsminderungsziele für das Jahr 2030, aussehen könnte. In jedem Sektor gibt es mindestens zwei wirkungsvolle Schlüsselmaßnahmen, deren Berücksichtigung bei der Erarbeitung des Maßnahmenprogramms zum Erfolg beitragen kann.

Executive summary

Introduction

Three scenarios for the development of greenhouse gas emissions in Germany from 2020 to 2035 have been elaborated for the project “Improving the methodological foundation and elaborating a greenhouse gas emission scenario for the 2017 Projection Report within the framework of EU greenhouse gas monitoring” (“Policy Scenarios VIII”). Two of these scenarios were included in the 2017 Projection Report:

- a) The “with existing measures” scenario (WEM) takes into account all measures implemented by 31 July 2016. It also includes measures of Germany government’s Climate Action Plan 2020 (BMUB 2014) that had been implemented by this date. The development resulting from these measures is compared with the (hypothetical) emission development that would have occurred without these measures and without the revision of existing policies and measures. The measures were considered which took effect before the measures covered by the WEM were implemented.
- b) The “with additional measures” scenario (WAM) primarily takes into account the measures of the Germany’s Climate Action Plan 2020 (BMUB 2014) and of the National Energy Efficiency Action Plan (BMWi 2014) that have not yet been implemented.

The Climate Action Plan 2050 adopted by the German government on 14 November 2016 shows a way to a largely greenhouse gas (GHG) neutral Germany in 2050 (BMUB 2016b). The long-term target to reduce greenhouse gas emissions by 55 % by 2030 compared to 1990, which was laid down in the German government’s Energy Concept 2010 (Bundesregierung 2010), is divided for the first time between the energy sector, buildings, transport, industry, agriculture and other sectors. The plan is to be made more concrete through programmes of measures drawn up in consultation with the German Bundestag. The first programme is to be adopted at the end of 2018.

As a result, a further scenario was developed in this project to serve as a basis for discussion of the development of the programme of measures for the Climate Action Plan 2050. It represents a possible path for achieving the sector targets by 2030:

- c) In the “with expanded measures” scenario (WEXM), a package of measures is proposed that in sum meet the sectoral targets for 2030 as laid down in the German government’s Climate Action Plan 2050 (BMUB 2016b). In consultation with the German Federal Environment Agency (UBA), measures were selected that would work towards the “Guiding principles of far-reaching greenhouse gas neutrality by mid-century” that were also specified for the Climate Action Plan 2050.

As part of the scenario calculations, a detailed analysis of the climate and energy measures taken by the time of the reporting date was conducted with regard to their effects on the development of greenhouse gas emissions in Germany. The emissions of the greenhouse gases covered by the Kyoto Protocol for the sectors of energy, industry, buildings, transport, agriculture, waste management and land-use change and forestry – carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O), partly fluorinated hydrocarbons (HFC), perfluorinated hydrocarbons (PFC), sulphur hexafluoride (SF₆) and nitrogen trifluoride (NF₃) – were taken into account.

An energy system model and an emission calculation model were used to develop the scenarios, with the help of which the results of detailed – partly model-based – sector analyses were consolidated into

consistent and full quantities for energy demand and greenhouse gas emissions. Specific analyses were conducted for space heating and hot water, electrical appliances, industry, the tertiary sector, transport, electricity generation from renewable energies and fossil power generation as well as for fugitive emissions from the energy sector and process-related CO₂, CH₄ and N₂O emissions. For other selected areas (HFC, PFC and SF₆ emissions as well as land use, land-use change and forestry [LU-LUCF]), results of other studies were compiled and used.

Framework data

A number of important framework conditions play a decisive role in the development of the energy demand and emission scenarios. This holds for the demographic and economic framework data and for the development of energy prices. To carry out the projections, the recommendations of the MMR of the EU Commission (EU 2013) for population development and the development of gross domestic product, the crude oil price and the EU emission allowance price were followed. Moreover, data that had been published by 31 July 2016 was used. To ensure consistency of the scenarios, data published after this date was not used. Table S- provides an overview of the most important framework data for the scenarios.

The scenario development is based on the demographic development, which shows the population of Germany decreasing slightly up to 2030; the country is expected to have 79.7 million inhabitants in 2030. The number of households increases slightly over the same period as a result of the continuing trend towards smaller households.

In terms of economic development, a relatively steady growth is assumed up to 2030. Gross value added in the manufacturing sector increases sharply from 473 billion €₂₀₁₀ to 533 billion €₂₀₁₀ between 2015 and 2030. Over the same period, a slight increase in jobs in private and public services (amounting to 1.1 million) is expected. The crude oil price is significantly higher in 2030 than in 2015.

A slight increase is assumed in EU emission allowance prices in the scenarios; in 2030 it amounts to €33 per EUA (real, 2013 price basis). The same EUA prices are applied in the projections for the WEM and the WAM. In the WEXM, it is assumed that emission allowance prices increase slightly in 2020 and 2025.

Table S-1: Selected demographic and economic framework data, 2015-2030

	2015	2020	2025	2030
Demographic development				
Inhabitants (in millions)	81.4	80.6	80.3	79.7
Households (in millions)	40.1	40.9	41.1	41.3
Economic development				
Gross domestic product (bln € ₂₀₁₀) ⁶	2,783	2,968	3,120	3,246
Gross value added of manufacturing (bln € ₂₀₁₀)	473	498	519	533

⁶ The major revision of national accounts in 2014 implements the rules of the "European System of Accounts" (ESA) of 2010 and increases the GDP for 2013 by approx. 80 billion Euro. To show the trajectory of the Federal Statistical Office and the autumn projections to enable comparability with other studies, the table includes the levels before the revision; the growth rates, however, correspond to the calculations after the revision.

	2015	2020	2025	2030
Jobs in services sector (in millions)	28.8	29.3	29.6	29.9
Primary energy source prices (€₂₀₁₃/GJ H_i)				
Crude oil	8.2	12.8	14.5	16.0
Hard coal	2.4	2.4	2.9	3.5
Natural gas	6.1	7.5	8.1	8.8
Emission allowance price (€/EUA)				
WEM and WAM	7.5	15.0	22.5	33.5
WEXM	7.5	17.5	27.5	33.5

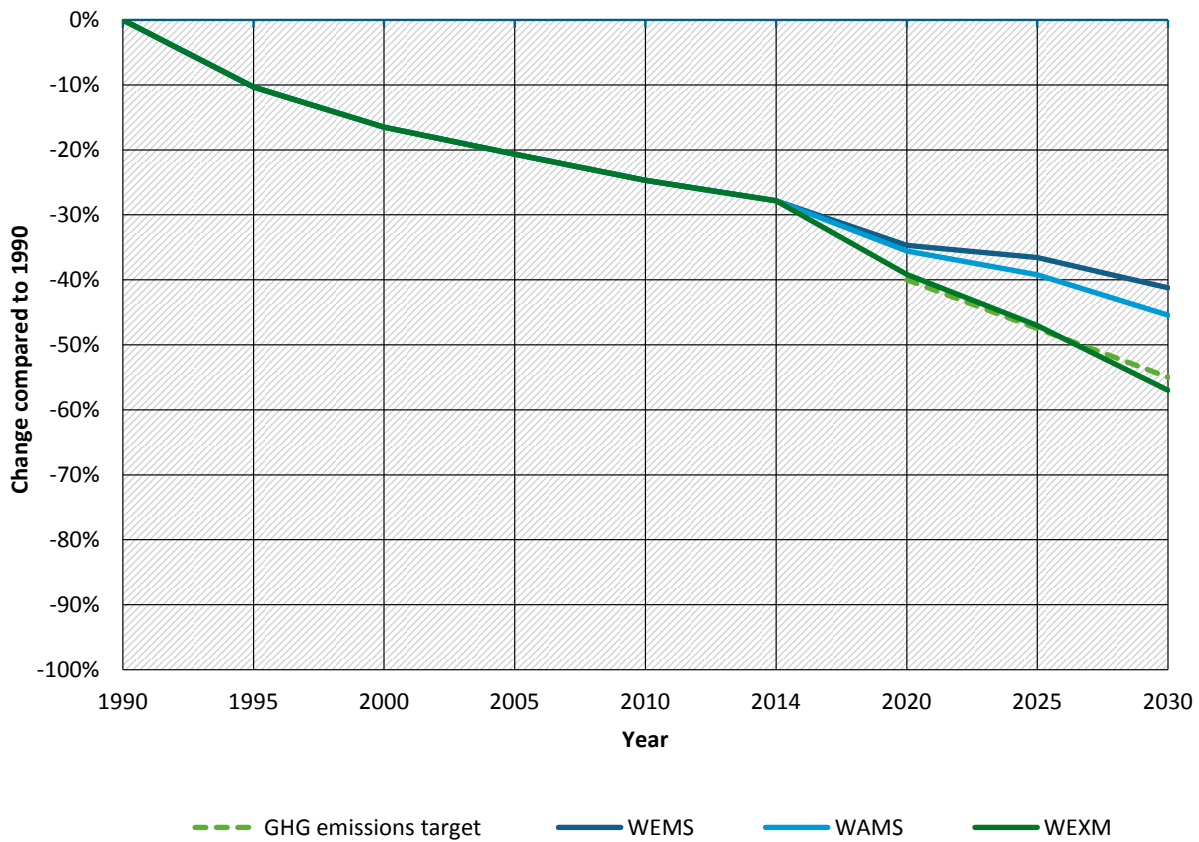
Sources: StBA 2016b, EC 2016c, EIA 2015, StBA 2014d, calculations by Öko-Institut and Fraunhofer ISI

Achievement of GHG reduction targets and other climate and energy targets

Figure S-1 shows the emission development in the three scenarios up to 2030. The graph also shows the emission target path of the Climate Action Plan 2050 as a dashed line (assumption: linear reduction up to 2030).

It can be clearly seen that emissions in the WEXM decrease much more sharply by 2020 than in the WEM and WAM and move increasingly further away from them over time. The WEM achieves a reduction of 41.2 % while the WAM achieves a reduction of 45.5 % in 2030 compared to 1990. In the WEXM, the GHG reduction amounts to 57.0% in 2030, slightly exceeding the target set in the Climate Action Plan 2030.

Figure S-1: Change in GHG emissions between 1990 and 2030 (without LULUCF and international bunkers)



Source: UBA 2016a, 2016b, BMUB 2016b, calculations by Öko-Institut and Fraunhofer ISI

Table S- shows the sectoral emission development in the scenarios for 2025 and 2030 and compared to the targets for 2030 in the Climate Action Plan 2050. In the WEM and WAM, the targets of the Climate Action Plan for 2030 are not achieved in any sector. In the WEXM, however, the targets are met as planned. The only exception is the transport sector, which misses the target by a small margin of 0.3 Mt CO₂. The sectoral emission development for further years is described in Table S-.

Table S-2: Sectoral GHG emissions compared to the sector targets of German Climate Action Plan 2050 (CAPlan 2050)

Sector	Modelled emissions 2025			Modelled emissions 2030			Emission target 2030 acc. to CAPlan 2050	
	WEM	WAM	WEXM	WEM	WAM	WEXM	Mt CO ₂	Reduction compared to 1990
Energy sector	303,4	281,0	215,0	276,0	240,7	164,0	175 – 183	62 – 61 %
Buildings	98,0	96,9	91,4	86,6	84,3	70,2	70 – 72	67 – 66 %
Transport	151,4	148,4	129,8	148,7	137,6	98,3	95 – 98	42 – 40 %
Industry	162,5	158,7	156,4	148,3	147,0	140,8	140 – 143	51 – 49 %
Agriculture	70,8	68,7	63,6	69,0	66,9	59,8	58 – 61	34 – 31 %
Sub-total	786,1	753,6	656,2	728,7	676,6	533,0	538 – 557	56 – 54 %

Sector	Modelled emissions 2025			Modelled emissions 2030			Emission target 2030 acc. to CAPlan 2050	
	WEM	WAM	WEXM	WEM	WAM	WEXM	Mt CO ₂	Reduction compared to 1990
Other	6,9	6,3	6,1	6,0	5,2	4,8	5	87 %
Total	793,0	759,9	662,3	734,7	681,8	537,7	543 – 562	56 – 55 %
Reduction com- pared to 1990	-36.6%	-39.2%	-47.0%	-41.2%	-45.5%	-57.0%		
For info. only: LULUCF	11,2	11,2	-4,5	19,2	19,2	-18,2		

Source: BMUB 2016b, historical data updated in accordance with UBA 2016a, 2016b, calculations by Öko-Institut and Fraunhofer ISI

Note: As a result of rounding off decimals, there may be a slight discrepancy between the sum of the sector results shown and the total sum.

In order to classify the results, the sensitivity of the assumptions on demographic and economic development was analyzed. For this, the assumed economic growth was increased; and a higher population was assumed. The impact that resulted is small compared to the total emissions; for all scenarios and years it is in the range of a maximum of one percentage point of the emission reduction compared to 1990. The changes therefore depend fundamentally on the measures and not on the framework data. In addition, the impact of low long-term prices for energy sources and emission allowances was calculated for the electricity sector. Here, too, the effect is minimal: the assumptions do not lead to a significant change in emissions in electricity generation since the lower CO₂ prices counterbalance the advantage of the lower prices for hard coal and natural gas; only minor shifts in the merit order are thus observed.

For 2030 the German government's Energy Concept (Bundesregierung 2010) set targets for the reduction of greenhouse gas emissions and targets for increasing the share of renewable energies and for increasing energy productivity, see Table S-3.

Table S-3: Achievement of energy and climate targets in 2030

	Target for 2030	Result WEXM
Reduction of GHG emissions compared to 1990	55 %	57 %
Share of renewables in gross final energy consumption	30 %	31 %
Share of renewables in gross electricity consumption	65 %	69 %
Increase of energy productivity	2.1 % p.a.	3.7 % p.a.

Source: Bundesregierung 2010 and calculations by Öko-Institut & Fraunhofer ISI

In the WEXM, the target of increasing the renewable share in gross electricity consumption is substantially overachieved. The renewable share in gross final energy consumption is also somewhat higher than the target. Substantially reduced energy consumption in the individual sectors result in a 35 % reduction in primary energy consumption by 2030 compared to 2008 and thus in an increase in energy productivity of 3.7 % a year.

Climate and energy measures of the WEXM

Table S-4 provides an overview of all measures of the WEXM analyzed in the sectors which make a contribution to achieving the emission reduction targets. The measures are attributed to the sector in which they have the greatest impact, also when they have impact in more than one sector.

Table S-4: Evaluation of individual measures in WEXM compared to WEM

Sector	Measure	Direct emission reduction [Mt CO ₂]			
		2020	2025	2030	
Energy sector	Electricity savings via measures in other sectors	2	3	8	
	Further development of EEG	7	14	25	
	CHP and renewable heat ⁷	-1	7	9	
	Further development of ETS	0,4	-1	-	
Industry⁸	Decarbonization of electricity generation	40	62	63	
	Further development of KfW efficiency programme	0,2	0,3	0,4	
	Minimum standards: new lots	0,2	0,2	0,2	
	Low-carbon industrial processes	0	0,1	0,4	
	Competition tenders (STEP up! heat)	0,3	0,6	0,7	
	Tightening of WEXM: energy efficiency obligation scheme ⁹	1,9	3,8	5,6	
	New WEXM: Pilot programme for smart meters ¹⁰	-	-	-	
	New WEXM: minimum standards of EU eco-design BAT ⁵	-	-	-	
	Buildings	Market incentive programme for renewable energies	0	1,3	2,6
		Energy efficiency obligation scheme	0	0,5	1,2
Incentive programme for energy efficiency, support program for optimizing heating, and national efficiency label for old heating systems		0	0,2	0,4	
Energy Saving Ordinance (EnEV)		0	0	0	
New WEXM: new design of support programmes for energy-related building refurbishment		0	0,9	1,9	
New WEXM: tax depreciation of energy refurbishment measures		0,4	2,1	3,9	
New WEXM: EnEV: Tightening of regulatory requirements for new buildings and building stock incl. obligations to retrofit boilers		0,1	0,7	1,3	
New WEXM: Obligation to use RES heat in building stock		0,3	1,6	2,7	
New WEXM: Promotion of NT heat grids	0,1	0,5	1,0		

⁷ Including impact on emission reduction of uncoupled district heating from “Other” section of the energy sector.

⁸ Emissions from CHP are included in the target. The measures are classified under the energy sector.

⁹ In an energy efficiency obligation scheme (also known as a “white certificate” scheme), a group of actors (usually energy utilities or grid operators) is required to achieve a certain amount of savings over a specified period. The parties subject to the obligation can generate the savings themselves either by initiating their own savings measures or by purchasing white certificates from third parties.

¹⁰ Impact on emission reduction occurs in the energy sector (“Electricity savings via measures in other sectors”).

Sector	Measure	Direct emission reduction [Mt CO ₂]		
		2020	2025	2030
• Measures for buildings in tertiary sector	Energy efficiency obligation; revision of the incentive program for commercial refrigeration and air conditioning systems; minimum standards: new lots; further development of KfW energy efficiency program New WEXM: Pilot programme for smart meters; minimum standards acc. to EU Eco-design BAT	0,1	0,7	1,5
• Measures of households – electricity ⁵	Energy Consumption Labelling Ordinance (EnVKV), tightening of minimum standards according to EU Eco-design Directive, energy efficiency obligation scheme	-	-	-
Transport	Further expanding the truck toll	0,2	0,6	0,6
	Energy-efficient utility vehicles	0,6	0,6	0,8
	Strengthening rail transport	0	0	0,1
	Revising CO ₂ standard (after 2020)		2,4	11,4
	Adjusting GHG quota and advanced biofuels	-0,2	-0,7	-1,2
	Tightening WEXM: revising CO ₂ standard		8,1	21,1
	Tightening WEXM: fuel quota for biofuels and PtG/PtL, inclusion of additional costs in price	0,2	0,9	1,5
	New WEXM: expanding road networks, toll for all vehicles based on kilometres travelled		5,1	11,3
	New WEXM: Trolley truck infrastructure		0,3	1,7
	New WEXM: Financing for public transport		0	0,1
	New WEXM: Promoting cycling		0,3	0,4
	NEW: speed limit		3,1	2,7
Agriculture	More liquid manure in biogas plants	0,2	0,6	1,2
	Tightening of Fertilizer Ordinance	2,0	2,3	2,6
	Use of inhibitors		2,2	2,2
	Peatland rewetting (N ₂ O)	0,03	0,6	1,1
	Expansion of organic farming	0,2	0,3	0,5
	Decrease in cultivation area	0,03	0,4	0,7
Waste	Landfill aeration (NKI) – intensified and continued	0	0,4	0,6
LULUCF	Forest management	14,3	16,6	15,8
	Peatland conservation	0	5,5	11,1
	Stopping peat extraction	0	1,0	2

Sources: Calculations by Öko-Institut

Note: For description of instrument types, see Table A-5-1 in the annex of the overall report; measures are attributed to the sector in which they chiefly take effect.

In the following, a brief description of the bundle of measures developed for achieving the sector targets in the WEXM is provided for each sector. Moreover, the most effective measures in the bundle will be briefly described.

ENERGY SECTOR

In the energy sector, the WEM and WAM show a reduction of emissions to approx. 276 and 240.7 Mt CO₂ respectively in 2030, which are still substantially above the sector target of 175-183 Mt CO₂. The measures already introduced – e.g. the further development of the EEG and the decarbonization of electricity generation – must therefore be tightened from their current state of implementation and applied more quickly or more ambitiously. In the WEXM this is undertaken as follows:

- ▶ The decarbonization of electricity generation is achieved by capping the annual emissions of lignite and hard coal power plants that have been in operation for more than 20 years, and by capacity management for older power plants. This measure results in an emission reduction of 63 Mt CO₂ in 2030 compared to the WEM.
- ▶ At the same time, the increase of renewable energies, especially onshore wind energy and photovoltaics, is being driven by increasing the rate of building installations. This measure results in a reduction of 25 Mt CO₂ compared to the WEM in 2030.

INDUSTRY

The WEM and WAM already show a continuous decrease in emissions for the industrial sector, which amounts to approx. 147 Mt CO₂ (WAM) by 2030 and is still 4 Mt CO₂ above the sector target for industry (sector target: 140-143 Mt CO₂). This reduction is achieved by a rapid improvement in energy efficiency and a slow fuel switch towards less carbon-intensive energy sources, with a continuous development of production in basic industry and a slight structural change towards higher shares of secondary production routes (e.g. electrical steel). The decrease in f-gases in refrigerants also contributes to emission reduction. This development reflects the mix of instruments that is strongly geared to energy efficiency in the WEM and the WAM. Efficiency potentials are tapped to the largest extent possible by ambitious implementation of the measures by 2030. However, incentives to use low-carbon energy sources are only marginally available via the EU Emissions Trading Scheme. This is the starting point for the WEXM.

In the WEXM, the instrument mix of the WAM is expanded and supplemented by stronger incentives to switch to low-carbon energy sources or renewable energies. The remaining gap to meeting the sector target of 4-7 Mt CO₂ by 2030 is thereby closed.

- ▶ A central instrument is a carbon tax within the energy tax, i.e. increasing the energy tax in the form of a surcharge, with carbon content serving as the assessment basis. This carbon tax is set at the level of the assumed price path for EUAs in the EU Emissions Trading Scheme (EU ETS) and applies to all companies/energy consumptions that are not subject to emissions trading. For companies subject to the EU ETS, this carbon tax constitutes a kind of “carbon floor price”. The reduced uncertainties with respect to the future development of the carbon price means greater planning security for companies when investing in R&D and demonstration and pilot plants.
- ▶ Furthermore, the energy efficiency obligation scheme is supplemented by promotion of the use of renewable energies for process heat generation.

The sector target of the Climate Action Plan for industry is achieved with these measures. It should be noted that there are major uncertainties with regard to economic development and the impact of measures. If measures are implemented less ambitiously or if the primary industry grows faster, achieving the sector target would be more difficult.

BUILDINGS

In order to achieve the sector target for buildings, an integrated strategy of support instruments, regulatory and planning requirements, and informational instruments is required. These are defined for all sectors in the WEXM and are designed as a consistent bundle of instruments. The measures result in

an extensive reduction of the heat demand (energy efficiency first). Key measures are the increased use of refurbishment opportunities and ambitious, target-orientated refurbishment measures as well as the transformation of heat supply to power plants based on renewable energies that are decentralized and connected to the heat grid.

- ▶ In concrete terms, the package of measures consists of instruments that are tightened compared to the current state of implementation and are applied more quickly or more ambitiously (particularly the KfW programmes for energy-efficient construction and rehabilitation, the market incentive program, the bundle of programmes from the incentive program for energy efficiency, the support program for optimizing heating, the national efficiency label for old heating systems and the Energy Saving Ordinance). In addition, there are a number of new measures, particularly tax incentives for building refurbishment, the introduction of a climate levy for buildings and the cross-sector introduction of a carbon tax within the energy tax, and an energy efficiency obligation scheme.
- ▶ In terms of savings of fossil fuels and the associated greenhouse gas emissions, tax depreciation for energy refurbishment measures is the most effective of the quantifiable measures, followed by expansion of the obligation to use renewable heat generators for existing buildings and an expansion of the market incentive programme.
- ▶ If the conditions of the KfW programme for energy efficient refurbishment are modified in such a way that the KfW 70 standard is established as the main standard for building refurbishment, it will lead to relatively low additional savings by 2030. However, compared to today's conditions, the measure would incentivize savings that are much more compatible with the target. In view of the long reinvestment cycles in the building sector, the measure thus makes an important contribution to bringing about an efficiency level of energy refurbishments that is compatible with the overarching energy transition targets for the building sector.

TRANSPORT

The Climate Action Plan set for the first time a sector target for the GHG emissions of transport in Germany. With a reduction of 40-42 % compared to 1990, this target can be regarded as ambitious – especially in view of the fact that GHG emissions have risen again in recent years (they amounted to approx. 170 Mt CO₂ in 2017, which is higher level than in the 1990 base year). To achieve the target (95 to 98 Mt CO₂ in 2030), efficiency gains with regard to newly registered vehicles are a key component, but are not sufficient on their own. The user costs of passenger cars must also be increased. In order to achieve the targets in the relatively short period of 12 years, timely planning and implementation of the instruments is necessary.

- ▶ The most effective measures by far are very ambitious (CO₂) emission standards for passenger cars. In the WEXM the manufacturer-specific target for passenger car fleets is decreased to 20 g per km (according to NEDC) in 2030. In addition, from 2025 a maximum 15 % deviation of the real fuel consumption from the manufacturers' data is assumed. This instrument leads to a substantial electrification of passenger cars; the share of electric journeys for new registrations of passenger cars increases to 60 % in 2030. In case the EU emission standards for passenger cars turn out to be less ambitious than assumed in the scenario, additional instruments (e.g. electric vehicle quota, CO₂-based first registration tax) would have to be implemented at national level in order to achieve the market ramp-up of electric mobility achieved in the WEXM.
- ▶ For heavy commercial vehicles, a reduction of fuel demand by 30 % is achieved by 2030 for new registrations (of diesel trucks). At the same time, in the WEXM scenario, a reduction in the CO₂ emissions from heavy goods vehicles is achieved as early as 2030 through the use of trolley trucks.
- ▶ The changes to the truck toll and the introduction of a toll for passenger cars based on kilometres travelled are the second key measure. In the WEXM the infrastructure charge is levied across the

network and for all vehicles – including passenger transport – from 2025 onwards. In addition, more externalities are incorporated in the toll collection in freight transport and from 2025 in passenger transport. These include environmental costs such as air pollutants, CO₂ emissions and noise pollution. As an alternative to passenger car tolls, a substantial increase in energy taxes would be conceivable – but this increase would have to be very high in order to achieve a similar effect.

- ▶ In addition to the fields of action specified above (efficiency of new vehicles/electric mobility, increase in user costs of private passenger transport), instruments for the promotion of public transport, rail transport and cycling are necessary in order to enable the infrastructure- and supply-based changes for shift incentives and thereby tap the shift potentials.

AGRICULTURE

It was possible to bring about the previous GHG reductions in agriculture primarily by 2005; since then, the emissions have stagnated or even increased slightly. For the first time, the Climate Action Plan has set a binding reduction target for this sector to be achieved by 2030. To meet this target, a turnaround is required, which makes the introduction of ambitious measures necessary:

- ▶ In terms of technical reduction measures, WEXM focuses on increasing liquid manure fermentation and optimizing the storage and yield of agricultural fertilizers. In the case of agricultural soils, the key lies in reducing nitrogen surpluses. The new German Fertilizer Ordinance has already been credited with optimizing the use of fertilizers and increasing the efficiency of agricultural fertilizers and fermentation residues. However, further tightening is necessary in order to achieve the targets. The use of nitrification inhibitors is quantified as having a considerable reduction potential of 2.2 Mt CO₂e. Although approved in practice and proven in many studies to have high reduction potentials, the use of this measure is controversial because its environmental impact, e.g. on water bodies and water quality, has not been sufficiently clarified. Improved data is urgently needed for a final evaluation.
- ▶ Some structural changes in agricultural management are necessary by 2030 in order to achieve the targets, e.g. the expansion of organic farming and the rewetting of peatland. A considerable share of the agricultural production area is no longer available for use by 2030 in the WEXM.
- ▶ Options based on decreasing livestock are not considered until 2030. With a view to the existing long-term target in 2050, there is no scope for further emission reductions since all reduction options available up to now in technical and agricultural management areas are almost completely exhausted by 2030. It is thus foreseeable that emission reductions will have to take place in the livestock sector in the long term, and a reduction in the number of livestock appears unavoidable if the target is to be achieved. This step must be communicated, discussed and prepared at an early stage – on the demand side and on the producer side.

OTHER

In the waste sector, far-reaching emission reductions have already been achieved through stringent targets and synergies with other environmental targets. The current emission reduction compared to 1990 already amounts to 73 %. By using technical measures like landfill aeration, further emission reductions can be achieved and the sector targets for 2030 can be met.

LULUCF (FOR INFORMATION ONLY)

In the land use, land use change and forestry (LULUCF) sector, the GHG sources and GHG sinks arising from the use of the total agricultural land area in Germany are balanced. The challenge in the LULUCF sector consists, on the one hand, of transferring emissions from high-emission land types, such as agri-

cultural land on peaty soils and peat extraction sites, to non-critical uses. On the other hand, the aim is to maintain carbon sinks in the forest sector. This is accomplished in the WEXM as follows:

- ▶ The forest management measure applies to the entire forest area in Germany and achieves an expansion of timber supply in the forests (sink). This leads to a strong GHG reduction of 14.3 to a maximum of 16.6 Mt CO₂e/year.
- ▶ The peatland conservation measure comprises the rewetting of peatland. Peat bogs in agricultural land amounted to 7.3% in 2015. Since a further share of the peat sites is rewetted every year in the WEXM, the GHG reduction increases continuously and reaches 11.1 Mt CO₂e/year in 2030.

The measure “Stopping peat extraction” halts peat extraction in Germany up to 2030. This will achieve a GHG reduction of 2.0 Mt CO₂e/year by 2030. However, this measure presupposes that the use of peat substitutes is concurrently expanded in order to prevent peat extraction from being displaced abroad.

Conclusion

The scenarios show that the German GHG reduction targets cannot be achieved either with the already implemented climate protection measures (“with existing measures” scenario), or with the currently planned measures (“with additional measures” scenario). Most of the German government’s energy targets are also missed. In order to achieve the energy and climate targets, more far-reaching measures are therefore necessary.

The WEXM (the “with expanded measures” scenario) serves as a contribution to the upcoming discussions in the development of the measures program for Germany’s Climate Action Plan. The scenario proposes a bundle of measures for achieving the energy and climate targets, particularly the sectoral emission reduction targets for 2030. There are at least two effective key measures in each sector, the inclusion of which in the development of the programme of measures can contribute to its success.

1 Einleitung und methodischer Ansatz

1.1 Einleitung

Im Auftrag des Umweltbundesamtes wurden von den Projektpartnern Fraunhofer -Institut für System - und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI), Dr. Hans Joachim Ziesing und Öko-Institut unter dem Titel „Politikszenerarien für den Klimaschutz“ in den Jahren 1996, 1999, 2004, 2007, 2009, 2013, 2018 umfangreiche Analysen zur Entwicklung von Szenarien für die deutschen Treibhausgasemissionen vorgelegt (DIW et al 1996, 1999 und 2004, Öko-Institut et al. 2007, 2009, 2013), die unter anderem auf einer Einzelbewertung von konkreten klima- und energiepolitischen Maßnahmen beruhen. Die Ergebnisse dieser Studien haben regelmäßig Eingang in die deutschen Klimaschutzprogramme gefunden, bildeten aber auch eine Grundlage für die von Deutschland im Rahmen der Klimarahmenkonvention zu erstellenden Nationalberichte und die dafür zu erstellenden Treibhausgasprojektionen und Instrumentenbewertungen.

Die Kombination von Szenarien, die die deutschen Treibhausgasemissionen weitgehend vollständig erfassen, und emissionsseitigen Wirkungsschätzungen für eine große Zahl konkreter, aber sehr unterschiedlich ausgerichteter und wirkender Instrumente, bildete ein besonderes Charakteristikum dieser Arbeiten. Die grundlegende Änderung wichtiger energiewirtschaftlicher Rahmenbedingungen (Energiepreise etc.) sowie die Einführung einer ganzen Reihe von neuen klimapolitischen Instrumenten oder die signifikante Änderung des bestehenden Instrumentariums macht eine regelmäßige Sichtung von Instrumentenwirkungen und deren Verdichtung zu Szenarien für Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen sinnvoll und notwendig. Vor diesem Hintergrund beauftragte das Umweltbundesamt unter dem Titel „Verbesserung der methodischen Grundlagen und Erstellung eines Treibhausgasemissionsszenarios als Grundlage für den Projektionsbericht 2017 im Rahmen des EU Treibhausgasmonitorings („Politikszenerarien VIII“)“ im Jahr 2016 das Konsortium mit der Erstellung neuer Treibhausgasprojektionen für Deutschland.

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 (BMUB 2016b) 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 Emissionshandelssystem.

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 im MMS und MWMS 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), das Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS) sowie das Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (MEMS) 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 Kapitel 3.3 wird die Ermittlung der gesamten energiebedingten- und prozessbedingten Emissionen dokumentiert.

Im Kapitel 3.4 werden die Emissionsentwicklungen für die drei Szenarien zusammenfassend dargestellt. Das Kapitel 3.5 enthält eine Zusammenfassung der Ergebnisse für die Sensitivitätsanalysen.

Kapitel 4 analysiert die Szenarien hinsichtlich der Erreichung der energie- und klimaschutzpolitischen Ziele der Bundesregierung.

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 drei Szenarien untersucht, von denen die beiden ersten dem Projektionsbericht 2017 zugrundeliegen:

- d) Im Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) werden alle Maßnahmen berücksichtigt, die bis 31. Juli 2016 ergriffen worden sind. Es beinhaltet auch Maßnahmen des „Aktionsprogramm Klima-

schutz 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.¹¹

- e) 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.
- f) Im Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (MEMS) wird ein Bündel von Maßnahmen vorgeschlagen, die in Summe die sektoralen Ziele für das Jahr 2030 des Klimaschutzplans 2050 der Bundesregierung (BMUB 2016b) erfüllen. Dabei wurden, gemeinsam mit dem UBA, vor allem solche Maßnahmen ausgewählt, die auf das ebenfalls für das im Klimaschutzplan 2050 formulierte „Leitbild der weitgehenden Treibhausgasneutralität bis Mitte des Jahrhunderts“ hinwirken.

Die Analyse und Bewertung der verschiedenen Maßnahmen, die Ermittlung der entsprechenden Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen sowie der notwendigen Hintergrundinformationen und -indikatoren für diesen Bericht 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.

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

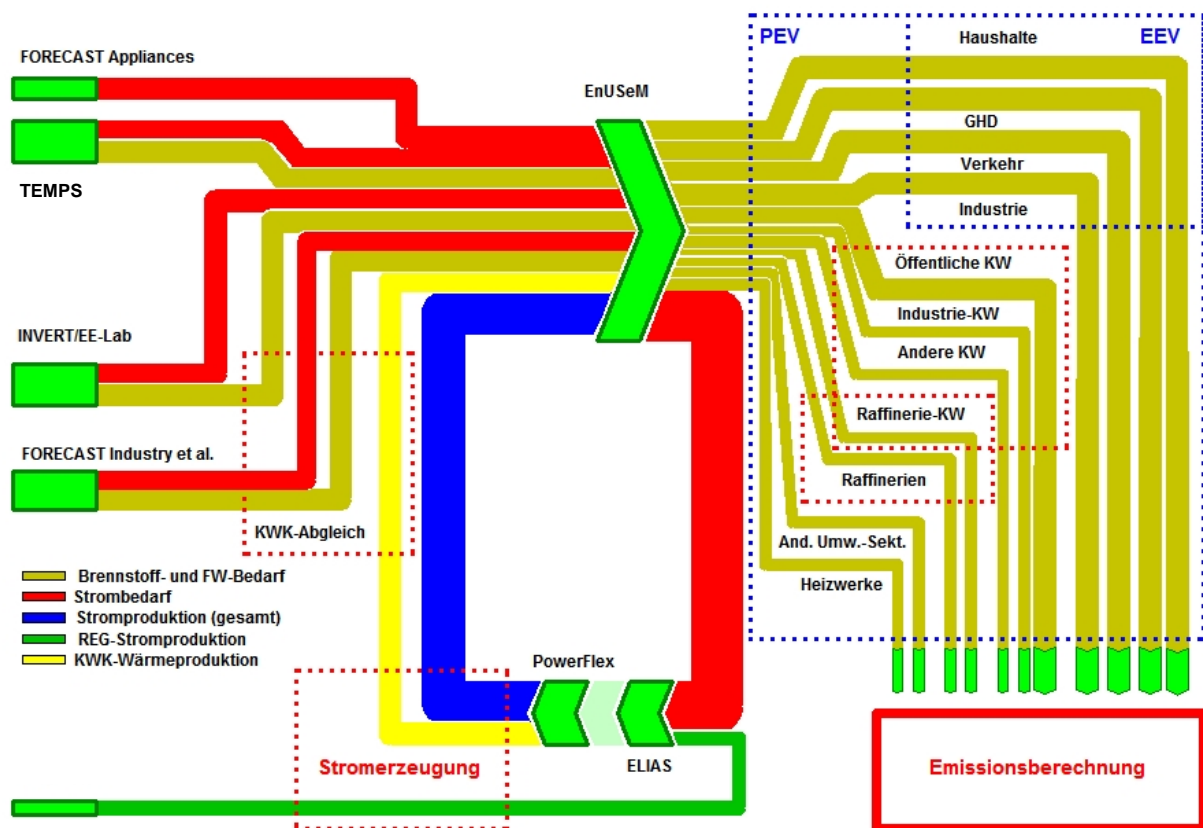
Abbildung 1-1):

- b) 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 diesen Modellen ebenfalls modelliert.
- c) 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).
- d) Für den Verkehrsbereich wurde die Verkehrsnachfrage für das MMS aus der Verkehrsverflechtungsprognose 2030 übernommen und bis 2035 fortgeschrieben. Die Modellierung erfolgt mit dem Modell TEMPS des Öko-Instituts (siehe 3.1.2.1).
- e) 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).
- f) 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).

¹¹ 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.

- g) 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: (Öko-Institut et al. 2015)

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).

- c) Für die HFKW-, FKW-, SF₆- und NF₃-Emissionen werden vorliegende Projektionen aktualisiert und angepasst (siehe 3.1.11).

Die Projektionen der Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft sowie von Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) werden für das MMS und MWMS vom Johann Heinrich von Thünen-Institut erstellt, die Projektionen des MEMS hingegen vom Öko-Institut (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 der Szenarien auch Sensitivitätsanalysen für alle Szenarien zu einer höheren Bevölkerungsentwicklung, einer höheren Wirtschaftsentwicklung sowie zu niedrigeren Energiepreisen in Kombination mit einem niedrigerem CO₂-Preispfad durchgeführt.

Die Berechnungen der Szenarien in diesem Bericht sind in großem Maß von vom nationalen Treibhausgasinventar abhängig. Das aktuellste zum Zeitpunkt der Berechnung dieser Szenarien 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 Datenauspielung 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 das Klimasekretariat der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) übermittelten Stand des nationalen Treibhausgasinventars (UBA 2016a). Neuere an die Europäische Kommission und bzw. oder an UNFCCC übermittelte Stände des nationalen Treibhausgasinventars konnten 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 (MMS, MWMS und MEMS zu Grunde gelegt wurden.

2.1 Demographische und gesamtwirtschaftliche Rahmendaten

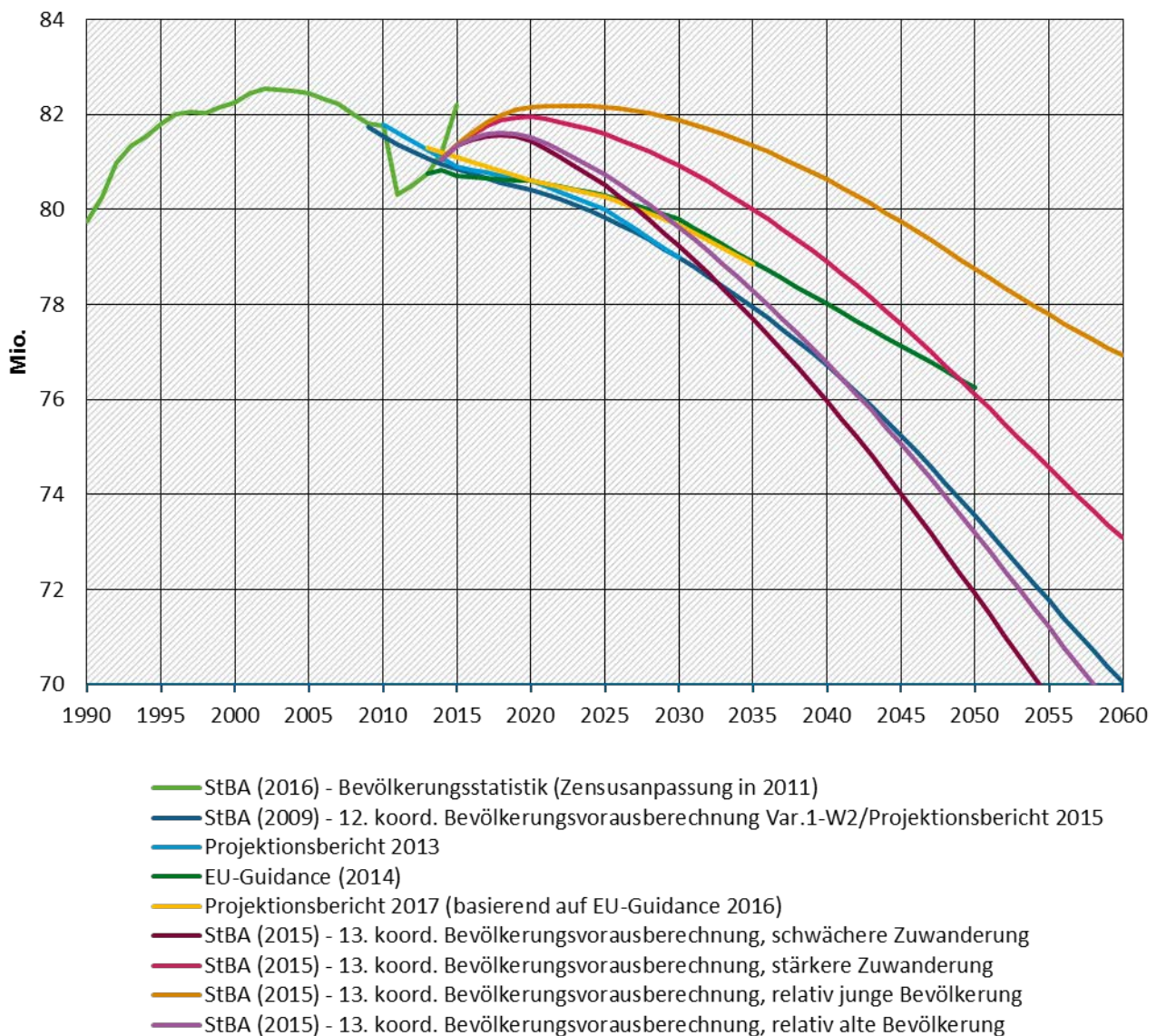
2.1.1 Demographische Entwicklung

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 (2014a, 2016a)
 Anmerkung: Eine offizielle Rückrechnung des Statistischen Bundesamtes für die Werte 1990-2011 auf Basis der Zensusanpassung lag zum Zeitpunkt der Datenrecherche 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 (EC 2016b).

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

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 durch-

schnittlichen 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)¹² 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

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

¹² 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).

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 (EC 2014b)	0,0 %	-0,1 %	-0,1 %	-0,2 %
EU-Guidance (EC 2016b)	-0,1 %	-0,1 %	-0,1 %	-0,2 %
Projektionsbericht 2013 (Bundesregierung 2013)	-0,1 %	-0,1 %	-0,3 %	
Projektionsbericht 2015 (BMUB 2016a)	-0,1 %	-0,1 %	-0,2 %	-0,3 %
Vorschlag Projektionsbericht 2017 (basierend auf EU-Guidance 2016)	-0,1 %	-0,1 %	-0,1 %	-0,2 %
Sensitivitätsvarianten Projektionsbericht 2017 (basierend auf StBA (2015))	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 Annahmen 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 Projektionen inner-

halb der europäischen Union nach der EU-Guidance (EC 2016b), die auch mit der in Abschnitt 2.1.1 dargelegten Bevölkerungsentwicklung harmonisiert.

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 2016a)	1,3 %	1,0 %	1,0 %	1,0 %
EU-Guidance (EC 2014b)	0,9 %	0,8 %	0,6 %	0,5 %
EU-Guidance (EC 2016b)	1,3 %	1,0 %	0,8 %	0,7 %
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:

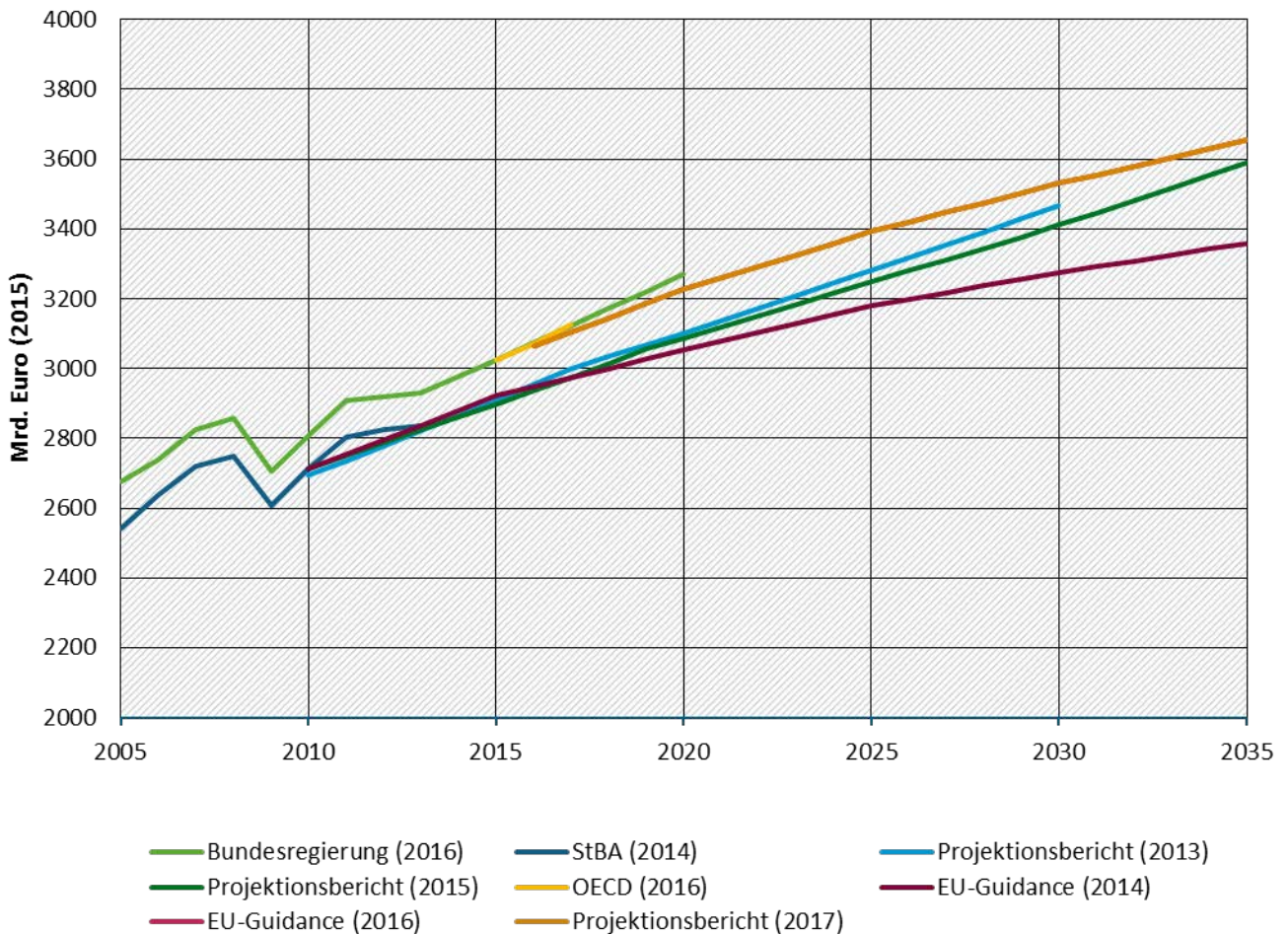
- a) **2015-2020:**
1,3 % Wachstum p.a.
- b) **2021-2025:**
1,0 % Wachstum p.a.
- c) **2026-2030:**
0,8 % Wachstum p.a.
- d) **2031-2035:**
0,7 % Wachstum p.a.

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 zeigt die Annahmen für den Projektionsbericht.

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



Quelle: eigene Darstellung nach Statistisches Bundesamt (StBA 2013; StBA 2014c), BMUB (2016a), Bundesregierung (2013), EC (2014a, 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 2016d). 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 Tabelle 2-3 dargestellt.

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 Energiemärkten im-

mer 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 Modells¹³ aus dem Niedrigpreisszenario des Annual Energy Outlook 2015 der Energy Information Administration (EIA) entsprechend niedrigere Preispfade entwickelt.

Tabelle 2-3 enthält neben der Empfehlung der EU-Kommission auch die im Projektionsbericht 2015 verwendeten Projektionen (hier in €₂₀₁₃) 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
		€ ₂₀₁₃ /GJ H _i				
Projektionsbericht 2015 (Projektion nach EIA AEO 2014 Reference) (BMUB 2016a)	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
EU Guidance Referenz für Projektionsbericht 2017	Rohöl Brent		12,8	14,5	16,0	16,6
	Steinkohle		2,4	2,9	3,5	3,7
	Erdgas		7,5	8,1	8,8	9,4
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_i, 6,4 GJ/boe H_s; Steinkohle 30,9 GJ/t; Erdgas 0,903 GJ H_i/GJ H_s.
Alle Angaben Grenzübergangspreise in €₂₀₁₃/GJ, unterer Heizwert bei Erdgas.

2.2.2 Preisprojektionen für Braunkohle

Für den Projektionsbericht 2017 werden als Ausgangspunkt für 2015 Gesamtkosten der Braunkohleförderung in Höhe von 6,2 €₂₀₁₃/MWh_{th} unterstellt. Für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit in der Zukunft ist dabei der Anteil von Fixkosten bzw. sehr langfristigen Investitionen im Braunkohletagebau entscheidend.

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

¹³ 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).

- ▶ Kurzfristig variable Kosten: Energiekosten des Tagebaubetriebs und weitere variable Kostenbestandteile; 1,5 €₂₀₁₃/MWh_{th} 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 €₂₀₁₃/MWh_{th}. Es wird unterstellt, dass diese Kosten bei sinkendem Bedarf mittelfristig abbaubar sind.
- ▶ Investitionsausgaben: Landerwerb, Entschädigungen, Tagebaugroßgeräte, etc. Der Restbetrag von 3,2 €₂₀₁₃/MWh_{th} 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 €₂₀₁₃/MWh_{th};
- ▶ ein Anteil bereits heute versunkener Kosten für langfristige Investitionen und Verpflichtungen von 0,6 €₂₀₁₃/MWh_{th};
- ▶ als Rest die langfristig variablen Betriebskosten des Tagebaus von 4,1 €₂₀₁₃/MWh_{th}.

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 CO₂-Preise bereit (EC 2016). Die EU-Kommission stellt nur einen CO₂-Preisfad zur Verfügung, der sowohl für das Mit-Maßnahmen- als auch für das Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario verwendet wird. Damit werden die folgenden CO₂-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.

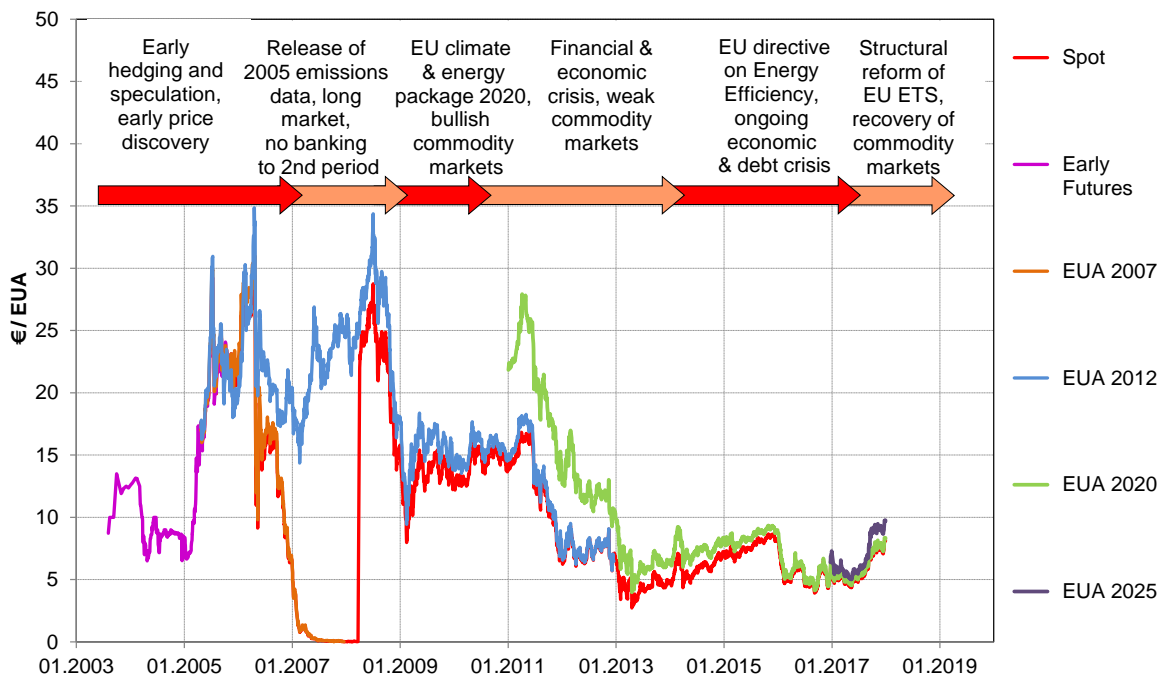
Im MEMS wird davon ausgegangen, dass in 2020 und 2025 durch geeignete Instrumente höhere CO₂-Preise erreicht werden. Für das MEMS werden daher folgende CO₂-Preise angesetzt:

- a) für das Jahr 2020 ein Wert von 17,5 €/EUA;
- b) für das Jahr 2025 ein Wert von 27,5 €/EUA;
- c) für das Jahr 2030 ein Wert von 33,5 €/EUA;
- d) für das Jahr 2035 ein Wert von 42,0 €/EUA;

Für die Sensitivität mit niedrigen Erdgas- und Steinkohlepreisen im Stromsektor (niedrige Energiepreise, siehe Abschnitt 2.2.1), werden niedrigere CO₂-Preise verwendet. Denn aktuelle Marktdaten zeigen deutlich niedrigere Preise für Emissionsberechtigungen.

Abbildung 2-3 zeigt die Entwicklung der Preise für EU-Emissionsberechtigungen mit Liefertermin Dezember 2020, also zur Erfüllung der Compliance-Verpflichtungen für das Jahr 2020. Seit dem Beschluss zur Reform des Emissionshandels ziehen die Preise am europäischen Kohlenstoffmarkt erheblich an. Der Preis nähert sich mit aktuell (Stand: April 2018) rund 13 Euro je EU-Emissionsberechtigung (€/EUA) den Erwartungen für das Jahr 2020 zunehmend an.

Abbildung 2-3: Settlement-Preise für den EUA-Spotmarkt sowie EUA-Futures verschiedener Liefertermine, 2003–2017



Quelle: (Öko-Institut et al. 2015)

Für die Sensitivitätsrechnung mit niedrigen Brennstoff- und CO₂-Preisen wird ausgehend vom heutigen Niveau der folgende niedrigere CO₂-Preisepfad verwendet:

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

2.4 Projektion der Entwicklung der Endverbraucherpreise

Die Entwicklung der mittleren Strom-Endverbraucherpreise ist in Tabelle 2-5 dargestellt. Sie beinhalten Annahmen zur Entwicklung von Großhandelspreisen, Steuern und Umlagen. Der leichte kontinuierliche Anstieg bis 2025 ist auf steigende Netzentgelte und Großhandelspreise zurückzuführen. Das Absinken nach 2025 liegt vorwiegend an der prognostizierten fallenden EEG-Umlage.

Tabelle 2-5: Annahmen zur Entwicklung der mittleren Endverbraucher-Strompreise je Sektor [Eurocent₂₀₁₆/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 2015)

2.5 Rahmendaten in einzelnen Sektoren

2.5.1 Verkehr

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

2.5.1.1 Verkehrsnachfrage

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 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 Annahmen und Rahmenbedingungen voraussetzt, welche über die bereits beschlossenen politischen Maßnahmen hinausgehen.

„Somit beschreiben diese Prämissen 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
Gesamt	1.257	1.280	1.327	1.401	1.463	1.519	1.567

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
Binnenschiff	62	58	55	61	66	77	80
Flugzeug (national)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Gesamt national	607	601	631	700	768	838	895
Flugzeug (international)	11	11	11	14	16	18	20
Gesamt	618	612	642	713	784	856	916

Quelle: Schubert et al. 2014, eigene Berechnungen

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

	2010	2012	2015	2020	2025	2030	2035
Hochseeschifffahrt	1742	1942	2081	2332	2593	2875	3202

Quelle: Öko-Institut et al. 2015

Für den Seeverkehr wurde die Entwicklung aus Klimaschutzszenario 2050 – 2. Endbericht (Öko-Institut et al. 2015) 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.

Zur Abschätzung der Wirkung von Maßnahmen auf die Verkehrsnachfrage werden Preiselastizitäten genutzt, die einer Literaturrecherche entnommen sind. Für den Personenverkehr wird auf empirisch abgeleitete Werte von Hautzinger et al. (2004) zurückgegriffen. Für den motorisierten Individualverkehr ist darin eine Preiselastizität von -0,3 auf Kraftstoffpreisänderungen sowie eine Kreuzelastizität für den öffentlichen Verkehr von 0,13 angegeben. Diese Werte liegen in der Spannweite der in dieser Studie aufgeführten 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.

2.5.1.2 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 und Lutsey (2016)

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

2.5.1.3 Entwicklung der Diskrepanz zwischen Testzyklus und Realverbrauch bei Pkw

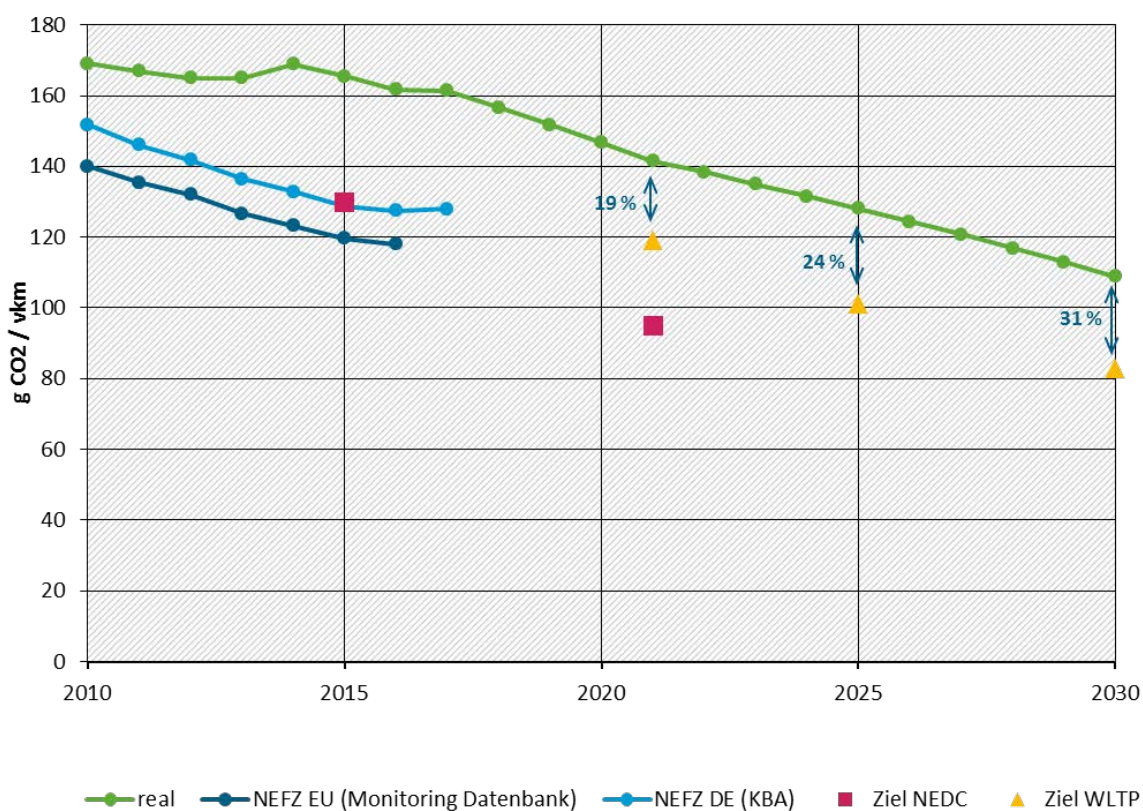
Energieverbrauch und Emissionen von Pkw liegen im realen Betrieb höher als die im Testzyklus (derzeit: NEFZ) gemessenen Werte. Diese Diskrepanz wird über die Werte aus Miller (2016) berücksich-

tigt: 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.¹⁴

Ohne Einführung des neuen Testzyklus WLTP könnte die Diskrepanz weiter auf 49 % im Jahr 2021 ansteigen. 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).

Abbildung 2-4 zeigt die Entwicklung der durchschnittlichen CO₂ Emissionen von Pkw-Neuzulassungen in der EU im Zeitraum 2010-2030 unter den obigen Annahmen, wenn man für das Jahr 2030 den aktuellen Kommissionsvorschlag (Reduktion um 30% ggü. 2021) hinterlegt. Bei einem Umrechnungsfaktor NEFZ zu WLTP von 1,25 entspricht dies einem Zielwert von mit 83 g/km (WLTP) im Jahr 2030.

Abbildung 2-4: Entwicklung der durchschnittlichen CO₂-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 NEFZ zu WLTP in Höhe von 1,25 im Jahr 2021.

¹⁴ 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 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.

2.5.1.4 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 6,3 % (bezogen auf den Energiegehalt) im Jahr 2020 ansteigt [und dann konstant bleibt¹⁵]. 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 CO₂ / MJ und soll auf 94,1 g CO₂ / MJ erhöht werden. Der fossile Komparator, welche für die Erfüllung der Nachhaltigkeitskriterien relevant ist, bleibt dagegen bei 83,8 g CO₂ / 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 CO₂ / MJ¹⁶. Die Emissionen der Biokraftstoffe sanken demnach von 40,75 g CO₂ / MJ im Jahr 2014 auf 24,98 g CO₂ / 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 flächenscharf erhoben werden wird) haben weiterhin einen hohen Anteil an den Emissionen der Biokraftstoffe, insbesondere wenn auch Emissionen aus indirekten Landnutzungsänderungen eingerechnet werden. Eine Erhöhung des Minderungsanteils erfolgt auch durch verstärkten Einsatz sog. fortschrittlicher Kraftstoffe auf Basis von Rest- und Abfallstoffen. Zu bereits bekannten Möglichkeiten Emissionen der Biokraftstoffe rechnerisch zu senken wie z.B. CCR wird es strengere Regelungen seitens der Kommission geben. Für die folgenden Überlegungen wird auf Grundlage von (BLE 2016) von einer Reduktion der berichteten Emissionen auf 20 g CO₂ / MJ ab dem Jahr 2020 ausgegangen.

Weiterhin werden zukünftig Minderungen der Upstream-Emissionen fossiler Kraftstoffe auf die Treibhausgasminderungsquote anrechenbar sein. Es wird davon ausgegangen, dass dies ab 2020 (rund ein Prozentpunkt) zur Erfüllung der THG-Quote beiträgt¹⁷.

Insgesamt ergibt sich aus den vorigen Überlegungen der in

Tabelle 2-10 dargestellte Biokraftstoffanteil.

¹⁵ Hierzu gibt es noch keine Positionierung der Bundesregierung. Der Kommissionsvorschlag zur RED 2 geht von steigenden Biokraftstoffanteilen aus.

¹⁶ 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.

¹⁷ Hierzu gibt es noch keine Position der Bundesregierung.

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 ₂ / 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 ₂ / 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 %
Energetischer Anteil Biodiesel an Diesel	5,7 %	6,5 %	6,5 %	6,5 %

Quelle: eigene Annahmen und Berechnungen (siehe Text)

2.5.2 Private Haushalte

2.5.2.1 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 (EC 2016b) 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
Bevölkerung (Mio.)	EU Guidance 2016	82,2	81,8	80,6	79,7	78,8
Haushaltsgröße	EU-Referenzszenario 2016	2,2	2,0	2,0	2,0	2,0
Anzahl Haushalte (Mio.)	Berechnung auf Basis EU-Referenzszenario 2016	37,4	40,9	40,3	39,9	39,4
Haushaltsgröße	Projektionsbericht 2015 (basierend auf nationalen Prognosen)	2,17	2,07	1,97	1,93	1,90

	Quelle	2000	2010	2020	2030	2035
Anzahl Haushalte (Mio.)	Berechnung auf Basis Projektionsbericht 2015	37,9	39,5	40,9	41,3	41,5

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.

2.5.2.2 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 Gebäudeabriss 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 m² im Zeitraum 2015 bis 2030 angesetzt.

Ausgehend von einer Gesamtfläche aller Wohnungen in Wohn- und Nichtwohngebäuden von 3,79 Mrd. m² (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 ²]	3 903	4 019	4 145	4 257

2.5.3 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
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 2014d

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

Prozess/Produkt	Einheit	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Eisen und Stahl							
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
Nicht-Eisen Metalle							

Prozess/Produkt	Einheit	2010	2015	2020	2025	2030	2035
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
Papiergewerbe							
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
Altpapierstoff	kt	15.535	16.476	17.811	18.361	18.273	17.833
Glas							
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
Keramik							
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
Nicht metallische Mineralstoffe							
Klinker Brennen (trocken)	kt	21.274	24.581	25.144	24.567	23.667	22.677
Klinker Brennen (halbtrocken)	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
Chemie							
Adipinsäure	kt	598	507	547	584	617	645
Ammoniak	kt	3.128	2.899	3.086	3.056	2.992	2.918

Prozess/Produkt	Einheit	2010	2015	2020	2025	2030	2035
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, Amalgam	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 ³ m ³	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
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
Nahrungsmittel							
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
Kunststoffverarbeitung							
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 (2012), UNFCCC; Nahrungsmittel: WVZ o.J., Milchindustrie o.J., Deutscher Brauerbund o.J., Statistisches Bundesamt; Kunststoffverarbeitung: Fraunhofer ICT und Fraunhofer ISI (2010), UBA 2016b

Die Entwicklung der Beschäftigten (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

Wirtschaftszweig	WZ 2008	2010	2015	2020	2025	2030	2035
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
Summe		28,2	28,8	29,3	29,6	29,9	29,8

Quelle: FORECAST-Tertiary

2.6 Sektorübergreifende Maßnahmen

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

2.6.1 Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS)

2.6.1.1 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 zugewiesenen 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 CO₂-Preises, sondern der CO₂-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 „Ökosteuereform“ 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 und nukleare Sicherheit (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 Klimaanlage, Energieeffizienznetzwerke) werden im Sektor Industrie & GHD behandelt (siehe Abschnitt 0). 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 am 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 Pi-

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

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

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

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

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 Prüfmethode sowie Mängel und Mängelschwerpunkte bei Produkten identifiziert werden (siehe dazu auch flankierende Instrumente). Die konkrete Anwendung für einzelne Gerätegruppen erfolgt seitens der EU-Kommission durch die Rahmenrichtlinie ergänzende, delegierte Verordnungen. Im MMS werden alle Gerätegruppen 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 2.7.3).

2.6.1.3 Flankierende und informatorische Instrumente

- a) LED-Leitmarktinitiative
Ziel dieses Programms ist die beschleunigte Markteinführung von LED-Technik 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 Beratung 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 Energieeffizienzmaßnahmen. 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 2.6.1.1) 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).

2.6.2 Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS)

2.6.2.1 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 Programmvolumens 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).

2.6.2.2 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 Produktgruppe 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.

2.6.3 Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (MEMS)

2.6.3.1 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%, ab 2021 um 2,2% (jeweils bezogen auf einen Referenzwert im Jahr 2010). Die Marktstabilitätsreserve (MSR) wird im Jahr 2018 eingerichtet, damit sie zum 01.01.2019 einsatzbereit ist. Im Frühjahr 2018 wurde die Novelle der EU-Emissionshandelsrichtlinie für die vierte Handelsperiode abgeschlossen. Hierbei wurde u.a. eine deutliche Stärkung der MSR beschlossen. Die Entnahmerate soll von derzeit 12% auf 24% angehoben werden (jeweils bezogen auf den Marktüberschuss). Außerdem ist eine dauerhafte Löschung von überschüssigen Berechtigungen vorgesehen.

Es erfolgt keine modellendogene Berechnung des CO₂-Preises, sondern der CO₂-Preis wird als exogener Rahmenparameter vorgegeben.

Um der strukturellen Reform des EU-Emissionshandelssystems Rechnung zu tragen, werden die von der EU für den Projektionsbericht vorgeschlagene Projektion der CO₂-Preise für die Jahre 2020 und 2025 für das Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario leicht angehoben (+2,5 Euro in 2020 und +5 Euro in 2025). Für die übrigen Jahre wird der CO₂-Preispfad aus dem Vorschlag der EU-Kommission übernommen. Die Anhebung des Preispfads im Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario erfolgt nur moderat, da sich der ursprüngliche CO₂-Preispfad aus heutiger Perspektive als zu optimistisch herausgestellt hat. Der Vergleich beider Preispfade erlaubt damit keine Rückschlüsse auf die Preiswirkung der strukturellen Reform des EU-Emissionshandelssystems.

Das MEMS (wie auch MMS und MWMS) enthält Maßnahmen, die zu Emissionsminderungen in den Emissionshandelssektoren führen und dort prinzipiell preissenkend wirken. Um die europäische Klimawirksamkeit nationaler Instrumente sicherzustellen und den CO₂-Preis gegenüber einem Szenario ohne interagierende nationale Klimaschutzmaßnahmen unverändert zu lassen, wird davon ausgegangen, dass das Angebot im EU-Emissionshandelssystem, z.B. die nationalen Auktionsmengen, um die entsprechende Menge an freiwerdenden Emissionsberechtigungen gekürzt wird. Diese Möglichkeit einer nationalen Kompensation wurde im Rahmen der ETS-Reform für Stilllegungen von Stromerzeugungskapazitäten geschaffen.

b) Erhöhung der Energiesteuer und Anpassung der Bemessungsgrundlage an CO₂-Gehalt (CO₂-Aufschlag Energiesteuer)*

Diese Maßnahme stellt eine Weiterentwicklung der Energiesteuer dar, indem die Bemessungsgrundlage am Kohlenstoffgehalt der einzelnen Energieträger orientiert wird. Sie soll auf fossile Brennstoffe (Heizöl, Gase, Kohle) erhoben werden. Um Doppelbelastungen mit dem EU-ETS zu vermeiden können die Zertifikatskosten aus dem EU-ETS auf die CO₂-Steuer angerechnet werden. Auch Kraftstoffe (Benzin, Diesel sowie im Inland verbrauchte Flugkraftstoffe) sollen erfasst werden. Um eine ökologische Lenkungswirkung der Abgabe in der Zeit zu gewährleisten, soll die Einführung mit einer schrittweisen Erhöhung (z.B. über eine Indexierung) verbunden werden. Nicht Analysegegenstand in dieser Studie ist die Ermittlung des Steueraufkommen des CO₂-Aufschlags in der Energiesteuer und die damit ermöglichten Finanzierungsspielräume zur Förderung von Klimaschutz oder anderer öffentlicher Aufgaben.

Die Modellierung des Instruments erfolgt sektoral (Gebäude, Industrie, GHD und Verkehr). Sie wird über eine Erhöhung der Brenn- und Kraftstoffpreise über die in den Rahmendaten festge-

legten Preise hinaus abgebildet. Es wird ein ansteigender CO₂-Preis über den Szenariozeitraum unterstellt, dieser beträgt zusätzlich zu der derzeitigen Energiesteuerbelastung 80 €/t CO₂ in 2025 und 150 €/t in 2035. Für Industrieunternehmen, die nicht im Emissionshandel erfasst sind, entspricht der CO₂-Preis dem Preis für CO₂-Zertifikate des Emissionshandels.

c) 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 resultierende 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 Million Euro pro Projekt gefördert. Die Quantifizierung des Programms erfolgt jeweils in den Sektoren, in denen im Rahmen des Programms Projekte durchgeführt werden können. Nach Ablauf des Pilotvorhabens wird bei der Quantifizierung der Maßnahme von einem konstanten jährlichen Programmvolumen und mit zunehmender Verbreitungen von „smarten“ Zählern und ähnlichen „Einsparzähler“-Produkten in Haushalten, Gebäuden und Industrie eine steigende Rate von digitalen Effizienzdienstleistungen ausgegangen.

Im MMS des Projektionsberichts 2017 konnte die Wirkung des Einsparzählers noch nicht quantifiziert werden, weil das Programm zum Zeitpunkt der Berechnungen gerade erst gestartet war. Mittlerweile – rd. 9 Monate nach Programmstart – zeichnet sich ein so großes Interesse an diesem Programm im Markt ab, dass das Fördervolumen bereits von zunächst 30 Mio. auf nunmehr 55 Mio. Euro erhöht wurde. Im Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario wird vorgeschlagen, von einer dauerhaften Etablierung des Pilotprogramms auszugehen, verbunden mit einer nochmaligen Verdoppelung des Programm volumens ab dem Jahr 2019.

d) Einführung eines ambitionierten Energieeffizienzverpflichtungssystems *

Die EU-Energieeffizienzrichtlinie (2012/27/EU; EED) enthält in Artikel 7, Abs. 1 eine Verpflichtung der Mitgliedstaaten, Energieeffizienzverpflichtungssysteme einzuführen. Dabei sollen die Energieverteiler und bzw. oder Energieeinzelhandelsunternehmen als verpflichtete Parteien ein kumuliertes Endenergieeinsparziel erreichen. Nach Artikel 7, Abs. 9 können die Mitgliedstaaten sich auch dafür entscheiden, als Alternative zur Einführung eines Energieeffizienzverpflichtungssystems andere strategische Maßnahmen zu ergreifen, sofern die dadurch erzielten neuen Energieeinsparungen der in Absatz 1 geforderten Höhe entsprechen. Während sich Deutschland bei der Umsetzung von Artikel 7 EED bisher ausschließlich für die Nutzung alternativer Maßnahmen entschieden hat, planen rund zwei Drittel der Mitgliedstaaten eine Umsetzung durch ein Energieeffizienzverpflichtungssystem, die meisten in Kombination mit alternativen Maßnahmen.

Im MWMS des Projektionsberichts 2017 wurde die Einführung eines Energieeffizienzverpflichtungssystems bereits als Maßnahme aufgenommen. Die dort getroffenen Annahmen zur zusätzlichen Einsparwirkung waren sehr moderat. Es wurde angenommen, dass durch eine Verpflichtung zusätzlich maximal 0,15% p.a. des nationalen EED-Artikel-7-Zieles (entsprechend 73 PJ neuer jährlicher Einsparung) als zusätzliche Einsparungen erzielt werden. Außerdem

war der Verkehrssektor nicht im System enthalten. Im Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario wird von einer ambitionierteren Ausgestaltung des Systems ausgegangen.

2.6.3.2 Ordnungsrecht

- a) Ambitionierte Weiterentwicklung der Ökodesign-RL *
- Im MWMS des Projektionsberichts 2017 wurde die Ökodesign-RL nur durch eine Ausweitung der Produktgruppen weiterentwickelt. Im Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario wurde die Wirkung der Ökodesign-RL durch weitere Elemente verstärkt, wie beispielsweise eine Ausrichtung der EnEff-Standards an effizientesten Geräten einer Gruppe, ambitionierte Vorgaben bei Revisionen, eine schnellere Implementierung und Ausweitung sowie eine weitere Stärkung des Vollzugs. Die Umsetzung ist jeweils sektorabhängig und wird im Rahmen der Modellierung konkretisiert.

2.7 Maßnahmen in einzelnen Sektoren

2.7.1 Verkehr

2.7.1.1 Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS)

2.7.1.1.1 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 Fahrgastinformationssystem 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.

2.7.1.1.2 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 Strommarktgesetz 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 Paketdienstflotten. 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 CO₂-Emissionen aus dem Seeverkehr (Monitoring, Reporting, Verification) und die Unterstützung der Einführung einer CO₂-Reduktionsmaßnahme auf Ebene der Internationalen Seeschiffahrts-Organisation (IMO).

2.7.1.2 Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS)

2.7.1.2.1 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.¹⁸ 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:

¹⁸ 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 bzw. oder CO₂-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 Novelisierung der EU-Wegekosten-Richtlinie (CO₂-Emissionen als Basis einer Mautspreizung, neue Systematik) und den Abschluss der Methodenentwicklung zur Bestimmung der CO₂-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 Energiesteuerermäßigung 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.

2.7.1.2.2 Ordnungsrecht

a) Fortschreibung der CO₂ – 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 CO₂-Zielwerte für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge (LNF) für die Zeit nach 2020.

Die EU-Kommission hat angekündigt, dass sie die CO₂-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 CO₂-Emissionsnormen für schwere Nutzfahrzeuge durchzuführen. Die Einführung des VECTO-Modells zur Simulation des CO₂-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 strengeren Grenzwerte für NO_x und PM bzw. PN erfordern eine intensivere Abgasreinigung, die - für sich genommen - tendenziell zu mehr CO₂-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 zählen dazu folgende Änderungen:¹⁹

- 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. Allerdings können nach der 37. BImSchV Bestandsanlagen den Strom aus dem Netz entnehmen.
- 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.

2.7.1.2.3 Flankierende Instrumente

a) Förderung regionaler Wirtschaftskreisläufe:

Mit dem Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 wurde beschlossen, regionale Wirtschaftskreisläufe zu stärken und den Zulieferverkehr 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

¹⁹ Die 37. BImSchV und 38. BImSchV sind in 2017 (d.h. nach dem Stichtag für die Festlegung der Maßnahmen) in Kraft getreten.

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 Verkehrsnachfrage 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 Erstausrüstung 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.

2.7.1.3 Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (MEMS)

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

Das im Klimaschutzplan gesetzte Ziel der Bundesregierung, die THG-Emissionen des Verkehrssektors bis 2030 um 40 % zu reduzieren, ist vor allem vor dem Hintergrund der Prognose von steigender Nachfrage im Personen- und Güterverkehr als sehr ambitioniert einzustufen. Wie die Entwicklungen des Verkehrssektors bis heute zeigen, bedarf es jedoch stärkerer als der bisherigen Impulse, um das System maßgeblich in diese Richtung zu bewegen. Neben den schon länger bestehenden Strategien von Vermeidung, Verlagerung, und Verbesserung (Effizienzsteigerung des Systems und neuer Fahrzeuge) gewinnt hierbei auch noch die Dekarbonisierung der Kraftstoffe an Relevanz. Die Elektrifizierung des Pkw-Bestandes ist ein zentraler Pfeiler für die Dekarbonisierung des Verkehrs. Vor dem Hintergrund der Langfristziele ist ein Ausstieg aus dem Verbrennungsmotor im Zeitraum 2030 bis 2035 notwendig. Für den Straßengüterverkehr ist für einen Zielbeitrag im Jahr 2030 die deutliche Effizienzsteigerung bei konventionellen Lkw wesentlich. Für die Erreichung des Langfristziels 2050 sollten jedoch darüber hinausgehende Strategien (z.B. Oberleitungs-Lkw) erprobt und weiterentwickelt werden. Verlagerung von Verkehr auf den Umweltverbund kann bereits kurz- bis mittelfristig zu einer Emissionsreduktion beitragen. Insbesondere Maßnahmen zur Förderung von nachhaltiger Mobilität in Städten und Ballungsräumen (Rad- und Fußverkehr, Parkraumbewirtschaftung, Ausbau des ÖPNV etc.) können vergleichsweise zügig eine Wirkung entfalten.

2.7.1.3.1 Ökonomische Instrumente und finanzielle Förderung

- a) Erhöhung der Energiesteuer und Anpassung der Bemessungsgrundlage an Kohlenstoff-Gehalt (CO₂-Aufschlag Energiesteuer)*

In einem ersten Schritt findet ein Angleich der Mineralölsteuer von Benzin und Dieselmotorkraftstoffen statt. Hierbei wird die derzeit niedrigere Steuer auf Dieselmotorkraftstoffe auf die von Benzin, bezogen auf den Energiegehalt, angehoben. Nach dem Angleich wird die Mineralölsteuer in Abhängigkeit des Kohlenstoffgehalts der Kraftstoffe weiter angehoben.

- b) Einführung eines ambitionierten Energieeffizienzverpflichtungssystems *

Die Einführung des ambitionierten Energieeffizienzverpflichtungssystems wird nicht separat berechnet. Effekte können zum Beispiel bei den Effizienzsteigerungen durch Maßnahme g) enthalten sein. Dieser Maßnahme werden jedoch keine Minderungen direkt zugewiesen.

- c) Straßennetzweite, fahrleistungsbezogene Maut für Kraftfahrzeuge

Eine straßennetzweite, fahrleistungsabhängige Infrastrukturabgabe wird ab 2025 für alle bis zu diesem Zeitpunkt noch nicht bemauteeten Kraftfahrzeuge unter Einbezug der Wegekosten des Straßenverkehrs eingeführt. Spätestens ab 2030 werden auch die externen Kosten für alle Kraftfahrzeuge bepreist (vgl. Tabelle 3-9). Die fahrleistungsbezogenen Wegekosten werden aus der Wegekostenrechnung (Lkw: Korn et al. 2014, Pkw: Zimmer et al. 2016) und die externen Umweltkosten – abgesehen von den Klimakosten – nach den Umweltkostensätzen des UBA (UBA 2014a)²⁰ angesetzt. Die resultierenden Änderungen in den Verkehrsleistungen und Verlagerungswirkungen werden über Elastizitäten abgebildet.

- d) Lkw – Aufbau Oberleitungsinfrastruktur / Elektrifizierung

Bis 2030 ist der Aufbau der Oberleitungsinfrastruktur für besonders stark befahrende Streckenabschnitte schon abgeschlossen, und damit ca. 1.000 Kilometer elektrifiziert. Wichtige Relationen des Straßengüterfernverkehrs können damit schon vollelektrisch gefahren werden. Die Durchdringung des Oberleitungs-Lkw, die dominierende Fahrzeugtechnik und die systemischen Effekte werden aus vorhandenen Szenarien (Renewbility III) übernommen.

- e) Umfassende Optimierung der ÖV-Finanzierung

Bis 2025 findet eine umfassende Optimierung der Finanzierungsstruktur des ÖPNV statt. Grundsätzlich wird eine bessere Planbarkeit der Mittelvergabe erreicht. Hierzu gehören zum Beispiel die Aufrechterhaltung der Mittel des EntflechtG wie auch eine erneute Zweckbindung der Mittel an den ÖV. Zudem wird ein Sondertopf für den Abbau des Reinvestitionsstaus in die Infrastruktur geschaffen. Mit Anzeielementen und höherer Transparenz in den Besteller-Ersteller-Beziehungen können die vorhandenen Mittel effizienter eingesetzt werden. Eine Neuauflage des Finanzierungssystems wird bis 2035 angestrebt.

- f) Förderung des Fahrradverkehrs

Ab 2020 werden jährlich 500 Mio. € zusätzlich in den Ausbau der Fahrradverkehrsinfrastrukturen investiert. Somit kann auch der im Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 vorab geschätzte Minderungsbeitrag des Fahrradverkehrs knapp erreicht werden. Eine ausreichende Ausgestaltung der Fahrradinfrastruktur ist für eine Transformation des Verkehrssektors unabdingbar.

2.7.1.3.2 Ordnungsrecht

²⁰ Die UBA Methodenkonvention zur Ermittlung von Umweltkosten wird derzeit überarbeitet. Die Veröffentlichung der neuen Kostensätze ist für Oktober 2018 geplant.

- a) Fortschreibung der CO₂-Flottengrenzwerte, Ausweitung auf schwere Nutzfahrzeuge (SNF) und ggf. Komplementierung mit einer Quote für Elektrofahrzeuge

Der herstellerepezifische Flottengrenzwert wird auf 20g CO₂ pro km (nach NEFZ) im Jahr 2030 abgesenkt. Durch die Zielverpflichtung der Hersteller auf EU-Ebene ist eine Überschreitung der Flottengrenzwerte für einzelne Länder nicht auszuschließen. Daher wird die auf Deutschland bezogene Zielerfüllung durch eine komplementäre Mindestquote von 60 % für vollelektrische Pkw bzw. entsprechend mehr extern-aufladbaren Hybridelektrofahrzeugen in den Neuzulassungen ergänzt. Zusätzlich wird eine maximale Abweichung des Kraftstoff-Realverbrauchs von 15 % zu den Herstellerangaben ab 2025 unterstellt. Für die schweren Nutzfahrzeuge wird bei den Neuzulassungen eine Reduktion des Treibstoffbedarfs um 30% bis 2030 erreicht.

- b) Kraftstoffquote Biofuels und PtG/PtL

Für Kraftstoffe aus biogenen Rest- und Abfallstoffen sowie strombasierte Kraftstoffe werden die Unterquoten ausgebaut, um einen potentiell notwendigen Markthochlauf vorzubereiten oder ggf. schon anzustoßen. Es werden die Gesamtquoten aus dem aktuellen Entwurf der RED II der EU-Kommission unterstellt, d.h. insgesamt 6,8 % erneuerbare „low carbon“ Kraftstoffe²¹, davon 3,6 % aus fortschrittlichen Biokraftstoffen. Die restlichen 3,2% zur Erreichung des Gesamtziels von 6,8% werden über abfallbasierte Biokraftstoffe (1,7%) sowie die Anrechnung von EE-Strom erreicht. Bis zum Jahr 2035 wird ein Phase-Out aus konventionellen nahrungsmittelbasierten Kraftstoffen angenommen; im Jahr 2030 beträgt ihr Anteil noch 1,5% (und liegt damit unterhalb der im Entwurf der RED II angegebenen Obergrenze von 3,8%). Insgesamt beträgt der (energetische) Anteil von Biokraftstoffen (ohne Strom) damit im Jahr 2030 6,8% (=3,6%+1,7%+1,5%).

Strombasierte Kraftstoffe kommen bis zum Jahr 2035 nur im Luftverkehr zum Einsatz. Ihr energetischer Anteil an den im Luftverkehr eingesetzten Kraftstoffen liegt bei 5% im Jahr 2030 und 15% im Jahr 2035.

Die entstehenden Mehrkosten für den Einsatz dekarbonisierter Kraftstoffe werden eingepreist und auf die Nutzer umgelegt.

- c) Tempolimit

Als kurzfristig wirksame Maßnahme wird ein Tempolimit auf deutschen Autobahnen in Höhe von 130 km/h ab 2020 eingeführt. Hiermit kann vor allem eine unmittelbare Absenkung von Verbrauch und Emissionen der Pkw, aber zusätzlich auch eine Verlagerung auf den Schienen-Hochgeschwindigkeitsverkehr aufgrund der höheren Pkw-Reisezeiten erreicht werden.

2.7.2 Gebäudebereich – Wärme- und Kältebereitstellung

2.7.2.1 Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS)

2.7.2.1.1 Finanzielle Anreize für Investitionen in Energieeffizienz und Erneuerbare Energien

- a) CO₂-Gebäudesanierungsprogramm

Über die Mittel des CO₂-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

²¹ flüssige oder gasförmige erneuerbare Kraftstoffe nicht biogenen Ursprungs, fortschrittliche Biokraftstoffe, EE-Strom, Kraftstoffe aus biogenen Rest- und Abfallstoffen

Verfügung (BMWi 2016a). Für das MMS wird dieses jährliche Budget über den gesamten Szenariozeitraum konstant gehalten.

i. „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 unterscheiden²². Zudem wird über den Förderbaustein KfW EH Denkmal (160) die Sanierung von Baudenkmalen 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 Geschosdecken sowie die Erneuerung der Fenster und Außentüren. Beim Austausch der Anlagentechnik werden Lüftungsanlagen, Brennwertkessel mit Heizöl oder Gas als Brennstoff sowie wärmegeführte KWK-Anlagen und 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.

ii. 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).

iii. KfW-Energieeffizienzprogramm „Energieeffizient Bauen und Sanieren - Energiekosten im Gewerbegebäude senken“

²² 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 Gebäudehüllen-anforderung (Ht') liegen die Werte jeweils 15% höher – für KfW 70 entsprechend maximal 85% des spezifischen Transmissionswärmekoeffizienten der EnEV.

Seit dem 01.07.2015 werden 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).

iv. 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)

Das „Anreizprogramm Energieeffizienz“ umfasst vier Schwerpunkte, die teilweise in die bestehenden Förderprogramme der KfW (siehe auch a)i) 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 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 Szenariozeitraum angenommen.

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_{el}.

- e) Wettbewerbliche Ausschreibungen (STEP up! Strom)*
Siehe Beschreibung unter sektorübergreifende Maßnahmen in Kapitel 2.6.
- 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 CO₂ im Jahr 2020 (bei angestrebtem jährlichem Austausch von bis zu 2 Millionen Pumpen sowie jährlichen 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. €).

2.7.2.1.2 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 (Ht') 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 gasförmigen 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. 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.

c) Umsetzung Ökodesign-Richtlinie und Energieverbrauchs-kennzeichnungs-Richtlinie für energieverbrauchsrelevante Produktgruppen
Siehe Beschreibung übergeordnete Maßnahmen.

2.7.2.1.3 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 Energiekosteneinsparungen 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 Wohnge-

bäudebereich 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“ (BMW/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 Mit-

tel 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.

2.7.2.2 Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS)

2.7.2.2.1 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 Marktanzreizprogramms (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.

2.7.2.2.2 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-Wärmegezet, 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.

2.7.2.2.3 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 Bundesregierung 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.

2.7.2.2.4 Flankierende und informatorische Instrumente

- a) Energetischer Sanierungsfahrplan Bundesliegenschaften und Liegenschaften Länder/Kommunen
Siehe Beschreibung unter Abschnitt 2.7.2.1.3.
- 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 CO₂-Einsparungen generieren können und gleichzeitig Energiekosten verringern können.²³

²³ Forschungsprojekt im Auftrag des UBA „Informativ und transparente Heizkostenabrechnung als Beitrag für den Klimaschutz“ (Climate Change 1/2016)

e) Änderungen im Mietrecht

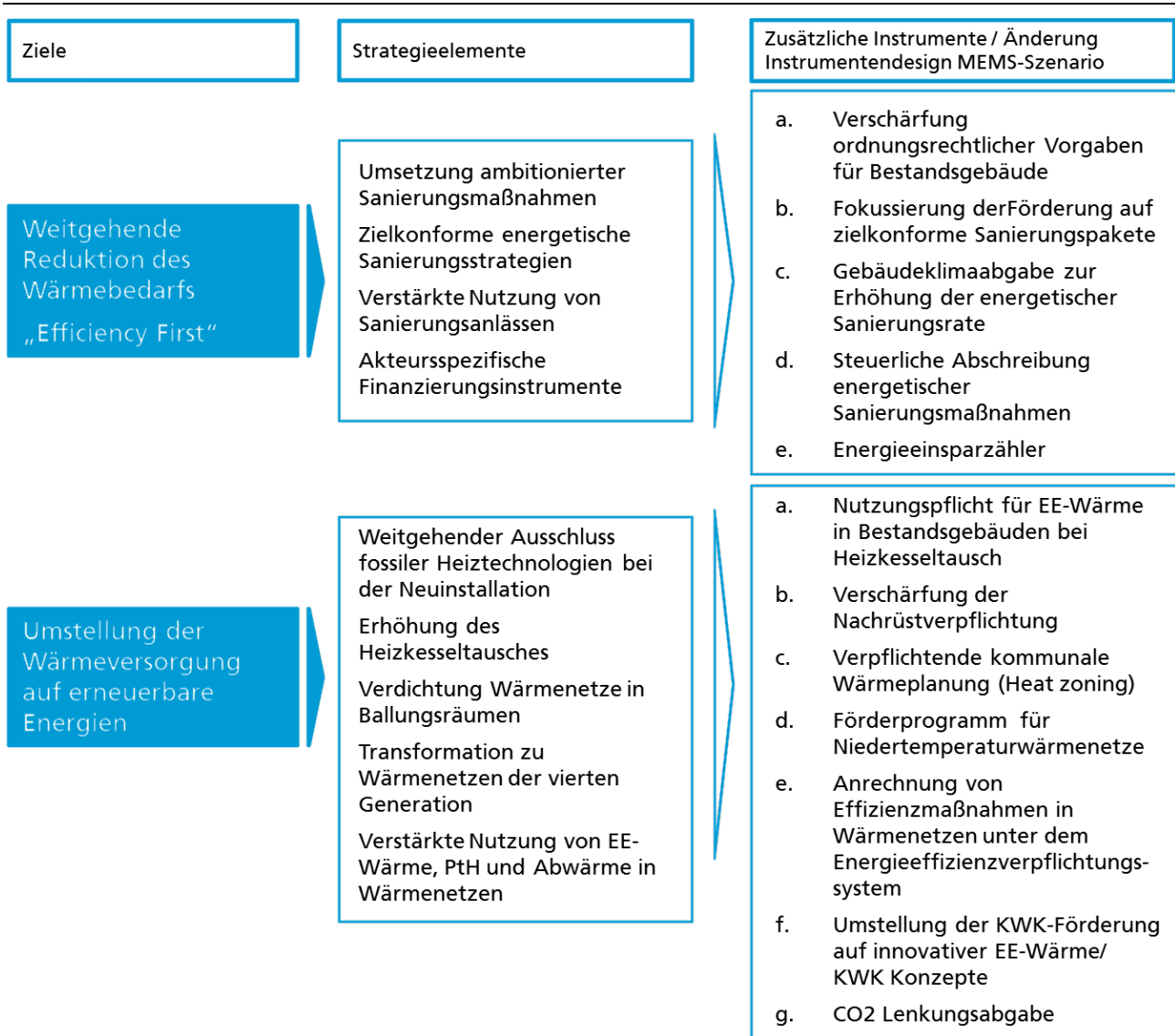
In dieser Legislaturperiode stehen weitere Änderungen im Mietrecht mit dem Ziel an, bezahlbaren Wohnraum zu erhalten und Mieter vor finanzieller Überforderung zu schützen (Mietrechtsnovelle II). Die gesetzlichen Vorgaben zur ortsüblichen Vergleichsmiete werden im Hinblick auf eine stärkere Berücksichtigung der energetischen Ausstattung und Beschaffenheit im Mietspiegel überprüft.

2.7.2.3 Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (MEMS)

Die Dekarbonisierung der Wärmebereitstellung erfordert zunächst einen sehr ambitionierten Rückgang des Endenergiebedarfs. Unter Berücksichtigung technischer Restriktionen bei der Gebäudedämmung ist jedoch ein Rückgang von maximal 60 % des Raumwärmebedarfs bis 2050 möglich (Mellwig et al. 2012, Bürger et al. 2014). Der Restwärmebedarf muss über EE-Wärmetechnologien – dezentral – und in Wärmenetzen sowie über EE-Strom mittels möglichst effizienter Wandlungstechnologien wie Wärmepumpen gedeckt werden. Insbesondere in dichtbesiedelten städtischen Gebieten mit Geschosswohnungsbau ist die Möglichkeit zur Absenkung des Wärmebedarfs durch Effizienzmaßnahmen beschränkt. Auch der Einsatz von dezentralen EE-Wärmetechnologien ist aufgrund von Platzmangel beschränkt – Gründe hierfür sind ein niedriges Verhältnis von Dachflächen zu Wohnflächen, limitierte Möglichkeiten sowohl für Erdwärmepumpen als auch für die Aufbewahrung und Verfügbarkeit von Biomassebrennstoffen. Darüber hinaus wird für die zukünftige Raumentwicklung ein fortschreitendes Wachstum von Städten und Ballungsräumen prognostiziert, so dass der Anteil des Wärmebedarfs, der in dichtbesiedelten Gebieten anfällt, weiter zunimmt. Vor diesem Hintergrund nehmen die Wärmenetze zur Dekarbonisierung der Wärmeversorgung eine zentrale Rolle ein. Dabei muss der Ausbau bzw. die Verdichtung von Netzen sowie die Transformation zu sogenannte Wärmenetzen der vierten Generation mit niedrigen Netztemperaturen, die eine Integration von EE-Wärme ermöglichen, durch entsprechende Instrumente vorangetrieben werden.

Das Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario erfordert für den Gebäudebereich somit eine integrierte Strategie von Förderinstrumenten, ordnungs- und planungsrechtlichen Vorgaben sowie informativ-instrumentellen Instrumenten, die sektorübergreifend zu definieren und als Instrumentenbündel stimmig auszugestalten sind. Abbildung 2-5 fasst die wichtigsten Elemente dieser Strategie zusammen und zeigt die zusätzlichen Instrumentenvorschläge, die zur Erreichung der Zielsetzung notwendig sind. Die detaillierte Beschreibung der Einzelinstrumente findet sich unten.

Abbildung 2-5: Strategie zur Dekarbonisierung des Wärmebedarfs und der Wärmeversorgung im Gebäudebereich



Quelle: Eigene Abbildung

2.7.2.3.1 Weitgehende Reduktion des Wärmebedarfs

- Verschärfung ordnungsrechtlicher Anforderungen für Bestandsgebäude
Während bereits im MWMS die Anforderungen für Neubauten ambitioniert angenommen sind, besteht insbesondere für den Gebäudebestand noch Nachholbedarf, um weitgehend zielkonforme energetische Sanierungen zuzulassen. Für das Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario wird daher eine Verschärfung der Energieeinsparverordnung oder ein mögliches Gebäudeenergiegesetz mit Bezug auf Gebäudehüllenanforderungen und den Primärenergiebedarf ab dem Jahr 2020 unterstellt (siehe 2.7.2.3.2 für die Anforderungen an die Wärmeversorgung).
- Neugestaltung der Förderprogramme zur energetischen Gebäudesanierung und Fokussierung auf zielkonforme Sanierungspakete
 - Im MWMS sind bereits Änderungen in der Ausgestaltung der zentralen Förderprogramme, die über das CO₂-Gebäudesanierungsprogramm finanziert werden, berücksichtigt worden.

Diese umfassen insbesondere ein höheres Budget sowie die Abschaffung der Förderung fossiler Wärmeerzeuger. Im MEMS wird noch stärker Gewicht auf eine zielkonforme Ausgestaltung förderfähiger Gebäudestandards gelegt.

- Für Sanierungen wird der Schwerpunkt der KfW-Förderprogramme mindestens auf den KfW-70-Effizienzhaus gelegt.
- Die finanziellen Mittel werden auf die Förderungen der energetischen Sanierung fokussiert.
- Einzelmaßnahmen werden nur gefördert, wenn sie aus einem umfassenden Gebäudekonzept („Sanierungsfahrplan“) stammen, das zu den langfristigen Zielen eines klimaneutralen Gebäudebestandes und mittelfristig zu einer vollständigen energetischen Sanierung des Gebäudes führt. D.h. womöglich werden weniger Einzelmaßnahmen, dafür in höherer (energetischer) Qualität durchgeführt.

c) Einführung einer Gebäude-Klimaabgabe

Zur langfristigen Sicherung der Finanzierung und um einen weiteren Anreiz zur energetischen Sanierung zu schaffen, wird eine Gebäude-Klimaabgabe eingeführt, die ab 2025 sukzessive erhöht wird. Ihre Höhe hängt vom energetischen Zustand des Gebäudes ab und steigt im Laufe der Zeit an. Sie gilt für alle Wohn- und Nichtwohngebäude und orientiert sich an den spezifischen CO₂-Emissionen oder dem spezifischen (nicht-erneuerbaren) Primärenergiebedarf eines Gebäudes. Die Gebäude-Klimaabgabe verfolgt zwei Ziele: Zum einen dient sie der Gegenfinanzierung der bestehenden Förderprogramme, zum anderen soll die Klimaabgabe dazu führen, mögliche Sanierungsanlässe wie Instandsetzungsmaßnahmen am Gebäude vermehrt zu energetischen Sanierungen zu nutzen.

d) Steuerliche Abschreibung energetischer Sanierungsmaßnahmen

Ab dem Jahr 2020 wird die Möglichkeit zur steuerlichen Absetzbarkeit für Investitionen zur energetischen Gebäudesanierung als einkommensunabhängige Gutschrift gewährt. Die steuerlichen Vergünstigungen orientieren sich dabei an den Effizienzhausstandards. Gebäudeeigentümer können bei der Förderung zwischen dem KfW Programm und der Steuergutschrift wählen. Anschaffungsnahe Herstellungskosten werden sofort oder über zwei bis fünf Jahre steuerlich berücksichtigt. Die Intention dabei ist, weitere Akteursgruppen zu erschließen, die bisher über die Förderung durch günstige Kreditfinanzierung mit Tilgungszuschuss oder Zuschussförderung nicht erreicht wurden.

e) Einsparzähler (sektorübergreifend) als Finanzierungsmodell für institutionelle und gewerbliche Gebäudebesitzer

Der Energiesparzähler ist eine sektorübergreifende Maßnahme, die im Gebäudebereich insbesondere als Anreiz- und Finanzierungsinstrument für Effizienzprojekte in größeren Wohn- und Nichtwohngebäuden dienen soll. Da hier insbesondere institutionelle Gebäudeeigentümer wie Wohnungsbaugesellschaften oder Betreiber von Nichtwohngebäuden angesprochen werden sollen, ist dieses Instrument eine sinnvolle Ergänzung zu den bestehenden Finanzierungsinstrumenten.

2.7.2.3.2 Umstellung der Wärmeversorgung auf erneuerbare Energien

a) Nutzungspflicht für erneuerbaren Energien im Gebäudebestand

Ein nahezu klimaneutraler Gebäudebestand 2050 setzt voraus, dass Heizkessel mit fossilen Brennstoffen nur noch einen geringen Beitrag zur Raumwärme- und Warmwasserversorgung

leisten. Daher soll der Einbau solcher Kessel stark sinken. Um die Marktanteile fossiler Wärmeerzeuger zu senken, sind ordnungsrechtlich verschiedene Konzepte vorstellbar:

- Ausweitung der Nutzungspflicht nach EEWärmeG auf den Gebäudebestand im Fall eines Heizkesseltausches mit sukzessiver Verschärfung der Mindestanteile für EE-Wärme am Endenergiebedarf,
- Sukzessive Verschärfung der Anforderung der EnEV in Anlage 4a, beispielsweise durch Produkt aus Erzeugeraufwandszahl und Primärenergiefaktor auf z.B. 1,0 (ab 2025) und 0,8 (ab 2030),
- Vorgabe einer Energieeffizienzklasse (für Verbundanlagen) gemäß Verordnung 2013/811/EU z.B. von mindestens A+ (ab 2025) oder A++ (ab 2030).

Alle Konzepte würden bei entsprechender Ausgestaltung eine ähnliche Wirkung erzielen, die quasi auf eine Nutzungspflicht von EE-Wärme bei Heizkesseltausch hinausläuft. Die Frage, in welchem Konzept diese umgesetzt wird, ist dabei eher aus juristischer Sicht zu beantworten. Zudem hängt die konkrete Umsetzung in einem Gesetz mit der weiteren Ausgestaltung des Ordnungsrechts und dabei insbesondere mit der Zusammenlegung von EnEV und EEWärmeG in einem Gebäudeenergiegesetz zusammen. Am transparentesten wäre sicherlich ein Verbot für die Installation fossiler Heizkessel.

b) Verschärfung der Nachrüstverpflichtung für Heizkessel und elektronische Messtechnik zur Betriebsoptimierung

Um die Heizungskesseltauschrates zu erhöhen bzw. um einer möglichen Verringerung der Kesseltauschrates aufgrund der oben beschriebenen ordnungsrechtlichen Anforderungen vorzubeugen, wird die in der EnEV definierte Nachrüstverpflichtung für Heizkessel verschärft, beispielsweise durch die verpflichtende Außerbetriebnahme von Heizkesseln der Effizienzklasse D ab 2020 und der Effizienzklasse C ab 2025, sobald diese mindestens 25 Jahre alt sind. Eine weitere Nachrüstverpflichtung wird mit Bezug auf die elektronische Messtechnik vorgesehen, die insbesondere im Nichtwohngebäudebereich mit komplexerer Wärme- und Kälteversorgungstechnik zu Einsparungen durch Betriebsoptimierung führen soll. So sollen ab 2020 Anlagen technischer Gebäudeausrüstung mit elektronischer Messtechnik ausgestattet werden, die die Energieeffizienz im Betrieb kontinuierlich überwacht und Betreiber über mangelnde Energieeffizienz informiert.

c) Verpflichtende kommunale Wärmeplanung

Der Wärmeplanung auf kommunaler Ebene kommt eine zentrale Rolle bei der Dekarbonisierung der Wärmeversorgung im Gebäudebereich zu. So war die Übertragung der Verantwortlichkeit zur Durchführung von Wärmeversorgungsplanung auf die Kommunen die Grundvoraussetzung für die erfolgreiche Transformation des Wärmesektors in Dänemark (DEA et al. 2015; Steinbach et al. 2017). Kommunale Wärmeversorgungspläne sollen möglichst detailliert auf Quartiersebene die Potentiale zur Wärmebedarfssenkung und zur Möglichkeit der dezentralen und wärmenetzbasierten Wärmeversorgung auf Basis von erneuerbarer Energien analysieren. Auf Grundlage der kommunalen Versorgungspläne und einer sozioökonomischen Bewertung können Zonen für die Versorgung bestimmter Energieträger festgelegt werden.

d) Förderprogramm für Niedertemperaturwärmenetze (Wärmenetze der vierten Generation)

Um einen hohen Anteil EE-Wärme beispielsweise durch große Solarkollektorfelder und Großwärmepumpen zu erreichen, sind Ausbau und die Umstellung von Niedertemperaturnetzen erforderlich. Die Absenkung der Netztemperaturen in bestehenden Netzen ist eine komplexe

Aufgabe, die nicht nur netzseitige, sondern auch kundenseitige Maßnahmen erfordert. Ein entsprechendes Förderprogramm, welches nicht nur breite Umsetzungsoptionen, sondern auch eine entsprechende Vorplanung fördert, ist das Programm seit 1. Juli 2017 bestehende Förderprogramm Wärmenetze 4.0 ²⁴. Im Sinne der integrierten Strategie würde sich diese Fördermaßnahme mit der unter h) beschriebenen verpflichtenden kommunalen Wärmeplanung sehr gut ergänzen.

- e) **Energieeinsparverpflichtung (sektorübergreifend) – Anrechnung von Effizienzmaßnahmen in Wärmenetzen**
 Als weiterer Anreiz für die Transformation bestehender Wärmenetze wird die Ausweitung des bereits im MWMS vorgeschlagenen Energieeinsparverpflichtungssystems vorgeschlagen. Dabei sollen Energieeffizienzmaßnahmen, die zur Absenkung der Netztemperaturen führen, auf die Erfüllung der Einsparverpflichtung angerechnet werden können. Da die Wärmenetzbetreiber in der Regel auch die verpflichtenden Akteure in einem Energieverpflichtungssystem sind, ergibt sich eine hohe Passfähigkeit für diese Maßnahme. Zudem bestehen derzeit kaum oder gar keine Anreize für Stadtwerke oder Energieversorger zur Absenkung der Netztemperaturen in Wärmenetzen.
- f) **Umstellung der KWK-Förderung auf innovative EE-Wärme- und KWK-Systeme**
 Mit der Novelle des KWKG, die im Jahr 2017 verabschiedet wurde, werden erstmals auch innovative KWK-Systeme gefördert, die neben der KWK-Anlage auch innovative EE-Wärmetechnologien wie große Solarkollektorfelder oder Großwärmepumpen beinhalten. Für das MEMS wird eine Umstellung der gesamten KWK-Förderung auf die Förderung von CO₂-Einsparungen von wärmenetz-basierten Versorgungsoptionen vorgesehen. Erste Umsetzung realisierter Anlagen wird für das Jahr 2020 angenommen.
- g) **CO₂-Aufschlag Energiesteuer (sektorübergreifend) – Erhöhung der Energiesteuer und Anpassung der Bemessungsgrundlage an CO₂-Gehalt**
 Die Beschreibung der Maßnahme ist im Kapitel zu den sektorübergreifenden Maßnahmen zu finden. Für den Gebäudebereich führt dies zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit erneuerbarer Technologien. Insbesondere für den Ausbau innovativer EE-Wärmetechnologien in Wärmenetzen ist dies relevant, da hier der Anteil der Kohle im Vergleich zur dezentralen Wärmebereitstellung noch sehr hoch ist und EE-Wärmetechnologien derzeit als Ersatzinvestitionen aufgrund der niedrigen Kohlepreise keine wirtschaftlichen Optionen darstellen.

2.7.2.3.3 Flankierende Instrumente

- a) **Stärkung des Vollzugs der EnEV durch die Bundesländer**
 Flankierend zur Anpassung des Ordnungsrechts soll der Vollzug der EnEV gestärkt werden. Hierzu gehören verbesserte Kontrolle bzw. Vollzug der Dokumentation nach Abschluss der Arbeiten durch Unternehmer- oder Eigentümererklärungen; hierzu ggf. (finanzielle) Unterstützung der Bundesländer durch den Bund.
- b) **Verbreitung und Förderung regionaler Beratungsnetzwerke für die Gebäudesanierung**
 Die Verbreitung regionaler Beratungsnetzwerke für die Gebäudesanierung kann informativ Hemmnisse beheben oder abschwächen sowie die Anzahl und Qualität energetischer Sanierungen erhöhen. Ein Beratungsnetzwerk nimmt eine gewerkeübergreifende, beratende und

²⁴ http://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Waermenetze/waermenetze_node.html

qualitätssichernde Funktion wahr, indem es Verbraucherinformationen bündelt, gezielte Öffentlichkeitsarbeit entlang der gesamten Beratungskette durchführt und die Weiterbildung seiner Mitglieder sicherstellt. Regionale Beratungsnetzwerke für die Gebäudesanierung werden mit zwei Schwerpunkten gefördert:

- Aufbau, Etablierung und Weiterentwicklung eines regionalen Beratungsnetzwerkes,
- Durchführung von Maßnahmen bei Erstsprache oder Initialberatung.

2.7.3 Private Haushalte – Strom

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

2.7.3.1 Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS)

2.7.3.1.1 Quantifizierte Instrumente

- a) Ökologische Steuerreform*
Die ökologische Steuerreform wird entsprechend der Beschreibung im Abschnitt 2.7.1 im Sektor private Haushalte (Strom) berücksichtigt.
- b) Mindeststandards (EU-Ökodesign-Richtlinie)*
Die Mindeststandards unter der EU-Ökodesign-Richtlinie werden entsprechend der Beschreibung im Abschnitt 2.6.1.2 a) für die den Stromverbrauch der privaten Haushalte betreffenden Produktgruppen berücksichtigt.
- c) Energielabel – EU-Richtlinie zur Energieverbrauchskennzeichnung *:
Die Verordnungen für die jeweiligen Produktgruppen im Rahmen der Energieverbrauchskennzeichnung werden entsprechend der Beschreibung bei den übergeordneten Maßnahmen Abschnitt 2.7.1.1.2 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 2.7.1.1.1 im Sektor private Haushalte (Strom) berücksichtigt.
- f) Pilotprogramm Einsparzähler*
Das Pilotprogramm Einsparzähler wird entsprechend der Beschreibung im Abschnitt 2.7.1.1.1 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 Bereitstel-

lung/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 Programmvolumens der Vorjahre.

2.7.3.1.2 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.

2.7.3.2 Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS)

2.7.3.2.1 Ordnungsrecht

- a) Mindeststandards (EU-Ökodesign-Richtlinie)*
Die Mindeststandards unter der EU-Ökodesign-Richtlinie und den jeweiligen EU-Durchführungsverordnungen werden entsprechend der Beschreibung im Abschnitt 2.6.2.2 a) für die den Stromverbrauch der privaten Haushalte betreffenden Produktgruppen berücksichtigt.
- b) Energielabel – EU-Richtlinie zur Energieverbrauchskennzeichnung *
Die Verordnungen für die jeweiligen Produktgruppen im Rahmen der Energieverbrauchskennzeichnung werden entsprechend der Beschreibung der übergeordneten Maßnahmen im Ab-

schnitt 2.6.2.2 b) für die den Stromverbrauch der privaten Haushalte betreffenden Produktgruppen berücksichtigt.

2.7.3.2.2 Sonstige quantifizierte Instrumente

a) Einführung eines Energieeffizienzverpflichtungssystems*

Die Verordnungen für die jeweiligen Produktgruppen im Rahmen der Energieverbrauchskennzeichnung werden entsprechend der Beschreibung der übergeordneten Maßnahmen im Abschnitt 2.6.2.2 für die den Stromverbrauch der privaten Haushalte betreffenden Produktgruppen berücksichtigt.

2.7.3.3 Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (MEMS)

2.7.3.3.1 Quantifizierte Instrumente

Ökonomische Instrumente und finanzielle Förderung

Einführung eines ambitionierten Energieeffizienzverpflichtungssystems *

Die Einführung eines Energieeffizienzverpflichtungssystems wird wie in Abschnitt 2.6.3.1 beschrieben im Sektor private Haushalte berücksichtigt. Es wird angenommen, dass durch das Energieeffizienzverpflichtungssystem weitere Potenziale zur schnellen Marktdurchdringung von hocheffizienten Geräten erschlossen werden.

Ordnungsrecht

Ambitionierte Weiterentwicklung der Ökodesign-RL:

Die Ökodesign-RL wird wie in Abschnitt 0 beschrieben für die den Sektor betreffenden Produkte betrachtet. Insbesondere wird angenommen, dass noch bestehende Hemmnisse für eine ambitionierte Festsetzung der Ökodesign-Standards beseitigt werden. Hierzu gehören die teilweise langen Regulierungsprozesse, die insbesondere bei Sektoren mit hoher Innovationsdynamik (z.B. IKT) zu wenig ambitionierten Standards führen können. Des Weiteren wird angenommen, dass sich die Standards stärker am Gesamtverbrauch orientieren, so dass die Effizienzverbesserungen nicht durch gegenläufige Entwicklungen (z.B. Größe) ausgeglichen werden.

2.7.3.3.2 Flankierende Instrumente

a) Pilotprogramm Einsparzähler

Das Pilotprogramm Einsparzähler wird wie in Abschnitt 2.6.3.1 beschrieben betrachtet.

b) Einführung von Stromeffizienzklassen

Es wird angenommen, dass eine verbindliche Darstellung möglicher Stromeffizienzklassen (A-G) aufgeteilt nach Haushaltsgrößen eingeführt wird. Die Darstellung ist auf der jährlichen Stromrechnung zu finden und wird ergänzt durch den Stromspiegel für Deutschland als separate Darstellung. Die Quantifizierung dieser Maßnahme ist aufgrund der geringen empirischen Erfahrung mit großen Unsicherheiten behaftet.

2.7.4 Industrie & GHD – Strom und Prozesswärme

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

2.7.4.1 Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS)

2.7.4.1.1 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, Metallherzeugung 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 N₂O 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 haben 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 Motoren und Antriebe, Pumpen, Druckluftsysteme, Anlagen zur Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung sowie die Dämmung von industriellen Anlagen) sowie Investitionen zur systemischen Optimierung, die über den Austausch einzelner Komponenten hinausgehen, unterschieden. Für erstere werden Investitionen bis zu einem Volumen von 30.000 Euro mit 20-30 % 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 CO₂-Einsparung pro Jahr im Verhältnis zu 100 Euro Investitionsmehrkosten. Das BMWi hat den Projektträger Karlsruhe beauftragt, das Förderprogramm umzusetzen.
- h) Förderung von Kälte- und Klimaanlageanlagen 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 CO₂-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 bzw. 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.

2.7.4.1.2 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.
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.

- c) 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.
- d) 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.
- e) 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.
- f) 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.
- g) 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 Akteure neben den bisherigen der Marktzutritt ermöglicht werden.
- h) 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 an 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.
- i) Unterstützung der Marktüberwachung
Die Stärkung der Marktüberwachung wird entsprechend der Beschreibung in Abschnitt 2.7.1.2 als flankierendes Instrument berücksichtigt.

2.7.4.2 Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS)

2.7.4.2.1 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. Angestrebt 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 CO₂-armen Produktionsprozessen (als erweiterte Nachfolge des NER-300 Programms der 3. Handelsperiode):
Die novellierte Emissionshandelsrichtlinie enthält unter anderem die Einrichtung eines Innovationsfonds um die Demonstration von CO₂-armen Technologien zu fördern. Demnach soll der Innovationsfonds auch für die Förderung von innovativen Produktionsprozessen und von innovativen Produkten, die CO₂-intensiv hergestellte ersetzen, in der energieintensiven Industrie genutzt werden können.
- c) Novellierung des „Impulsprogramm gewerbliche Kälte- und Klimaanlage“ der Nationalen Klimaschutzinitiative, wie im Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 angekündigt

2.7.4.2.2 Ordnungsrecht

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

2.7.4.2.3 Sonstige quantifizierte Instrumente

- a) Einführung eines Energieeffizienzverpflichtungssystems*
Siehe Beschreibung unter sektorübergreifenden Maßnahmen in Abschnitt 2.7.2.

2.7.4.2.4 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 durchgeführten Energieberatungen 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. Dem gegenüber steht eine Gesamtzahl von 275 .000 landwirtschaftlichen Betrieben in Deutschland im Jahr 2016.
- 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 Gewerbeabfallverordnung durch Vorgaben für eine striktere Getrenntfassung und die Sortierung und Verwertung von gemischten Gewerbeabfällen bewirken. Mehrere Studien zeigen, dass damit um die Mio. t CO₂e 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.

2.7.4.3 Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (MEMS)

Hinweis: Mit „*“ werden übergeordnete Maßnahmen gekennzeichnet, die auf sektoraler Basis quantifiziert werden. Dies trifft auf alle quantifizierten Maßnahmen zu.

- a) Erhöhung der Energiesteuer und Anpassung der Bemessungsgrundlage an CO₂-Gehalt (CO₂-Aufschlag Energiesteuer)*:
Siehe Beschreibung übergreifende Maßnahmen in Abschnitt 2.6.3. Für die Industrie ist die Überschneidung mit den EUA-Preisen aus dem Emissionshandel zu berücksichtigen. Es wird für die Quantifizierung davon ausgegangen, dass die CO₂-Steuer für Unternehmen im Emissionshandel wie ein Mindestpreis („price floor“) wirkt. Diese Minderung der Unsicherheiten bezüglich der zukünftigen Entwicklung des CO₂-Preises stellt für die Unternehmen eine höhere Planungssicherheit bei der Investition in F&E sowie Demonstrations- und Pilotanlagen dar. Dies würde es den Unternehmen erlauben, bereits bei heutigen Investitionen einen zukünftig steigenden CO₂-Preis zu berücksichtigen. Doppelbelastungen aus Emissionshandel und CO₂-Aufschlag in der Energiesteuer sind zu vermeiden.
- b) Pilotprogramm Einsparzähler*
- c) Einführung eines ambitionierten Energieeffizienzverpflichtungssystems *
- d) Ambitionierte Weiterentwicklung der Ökodesign-RL *

2.7.4.4 Flankierende Instrumente

- a) Branchenspezifische Effizienzkampagnen. Eine Einschränkung der bisher für die Sektoren Industrie und GHD vorgesehenen Maßnahmen ist, dass sie überwiegend branchenübergreifend wirken. Damit werden die auf branchenspezifischer Ebene bestehenden zusätzlichen Einsparpotenziale vernachlässigt. Um deren Ausschöpfung stärker anzureizen und spezifische Hemmnisse gezielter zu adressieren, sollen verstärkt branchenspezifische Effizienzkampagnen entwickelt und gefördert werden.
- b) Einführung eines Labels für Anlagen und Maschinen von OEM (Original Equipment Manufacturer) mit Hinweis auf ausschließlich hocheffiziente (d.h. insbesondere eine bessere Energieeffizienz aufweisend als sie gemäß Ökodesign-Richtlinie als Mindesteffizienz vorgegeben wird) Querschnittstechniken (Motoren, Ventilatoren, Pumpen etc.).
- c) Kampagne zur Aufnahme von hochenergieeffizienten Produkten in den Lagerbestand von Großhändlern: z.B. Prämien und öffentliche Auszeichnungen.
- d) Lastmanagement/Flexibilisierung von Lasten in der Industrie (siehe auch ausführliche Darstellung als vorgeschlagene Maßnahme KSP-IGHD-03 für den Klimaschutzplan 2050, siehe Wuppertal Institut et al. 2016).

- e) Kennzeichnung der Produkte nach ökologischem Fußabdruck (siehe auch ausführliche Darstellung als vorgeschlagene Maßnahme KSP-IGHD-08 für den Klimaschutzplan 2050, siehe Wuppertal Institut et al. 2016).
- f) Förderung von spezialisierten Dienstleistern der Energieeffizienz: Aufgreifen von F&E-Ideen mit angestrebter Realisierung in Forschungsprojekten mit Anwenderunternehmen, Forschungsinstituten und Herstellern.
- g) Prozesstechnische Workshops mit innovativen Anwendern, Hersteller-Unternehmen und anwendenden Forschern zum Ideenaustausch (und zur Aufhebung von Innovationsblockaden bei Herstellern).
- h) Unterstützung bei der Nutzung von industrieller Abwärme in Fernwärmenetzen, insbesondere:
 - Möglichkeiten/Rahmen zur Versicherung des Ausfallrisikos für beide Parteien schaffen
 - Öffnung der Fernwärmenetze für den Zugang Dritter
 - Austausch und Vernetzungsprogramme um „Best-practice“-Beispiele

2.7.5 Stromsektor / Energiewirtschaft

2.7.5.1 Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS)

2.7.5.1.1 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_{el} (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.

2.7.5.1.2 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 CO₂). Die Stilllegung der betroffenen Kraftwerksblöcke wird im MMS berücksichtigt.

2.7.5.2 Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS)

2.7.5.2.1 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.

2.7.5.3 Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (MEMS)

a) Emissionshandel

Die sich aus dem EU-ETS ergebenden CO₂-Preise werden im Stromsektor wie in Abschnitt 2.6.3.1 a) beschrieben berücksichtigt.

b) Weitere Dekarbonisierung der Stromerzeugung

Vor dem Hintergrund der nationalen, europäischen und internationalen Klimaschutzziele erfolgen keine weiteren Investitionen in fossile Erzeugungsstrukturen. Deshalb wurde im MWMS bereits unterstellt, dass Investitionen in lebensdauerverlängernde Maßnahmen bei älteren KWK-Kraftwerken vermieden werden. Für das MEMS wird zusätzlich eine Kombination aus Kapazitätsmanagement und einer Begrenzung der Vollbenutzungsstunden unterstellt. Die Begrenzung der Vollbenutzungsstunden erfolgt ab dem Jahr 2020 für Braunkohle- und Steinkohlekraftwerke, welche bereits länger als 20 Jahre in Betrieb sind, auf Basis des in (Öko-Institut et al. 2017) vorgestellten Volllaststunden-Modells. Die jährlichen CO₂-Emissionen der Kraftwerke werden auf einen Maximalwert von 4,9 Mt CO₂/GW begrenzt. Ein Kapazitätsmanagement wird ab dem Stützjahr 2030 berücksichtigt. Dabei wird auf das Szenario „Kapazitätsmanagement für Braunkohle und Steinkohle“ aus (Öko-Institut et al.

2017) zurückgegriffen. Im Jahr 2035 wird das Kapazitätsmanagement mit der gleichen Minderungsgeschwindigkeit fortgesetzt. Im Jahr 2035 sind daraus folgend nur noch Kohlekraftwerke mit einer installierten Leistung von 5 GW im Betrieb.

c) Ausbau der erneuerbaren Energien

Der weitere Ausbau der erneuerbaren Energien wird so gestaltet, dass unabhängig von den im EEG definierten Korridoren die oberen Grenzen der Ausbauziele (45 Prozent im Jahr 2025 und 60 Prozent im Jahr 2035) mindestens erreicht werden.

d) KWK und erneuerbare Wärmebereitstellung

Um eine fossile Pfadabhängigkeit zu verhindern, sollen im MEMS die Erdgasersatzinvestitionen um alternative Technologien ergänzt werden. Es wird verstärkt auf einen Ausbau von solar- und tiefengeothermischen Anlagen, Wärmepumpen, Wärmespeichern sowie Power-to-Heat gesetzt. Dies soll mit geeigneten Instrumenten unterstützt werden. Der eingeleitete Ausstieg aus der kohlebasierten KWK wird fortgeführt.

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

2.7.6.1 Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS)

Anfang 2013 wurden eine Reihe von N₂O-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.

2.7.6.2 Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS)

Keine zusätzlichen Maßnahmen, die direkt auf die CO₂-, CH₄- und N₂O-Emissionen aus Industrieprozessen abzielen.

2.7.6.3 Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (MEMS)

Keine zusätzlichen Maßnahmen, die direkt auf die CO₂-, CH₄- und N₂O-Emissionen aus Industrieprozessen abzielen.

2.7.7 Industrieprozesse und Produktverwendung (Fluorierte Treibhausgase)

2.7.7.1 Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS)

- 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 SF₆-Produzenten zu SF₆-Emissionsbegrenzungsmaßnahmen bei elektrischen Betriebsmitteln
- f) „Impulsprogramm gewerbliche Kälte- und Klimaanlage“ der Nationalen Klimaschutzinitiative

2.7.7.2 Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS)

- a) Novellierung des „Impulsprogramm gewerbliche Kälte- und Klimaanlage“ 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 CO₂ als alternativem Kältemittel
- Förderung des verstärkten Einsatzes von nichthalogenierten Kältemitteln in der Transportkälte und in stationären Kälte- und Klimaanlagen

2.7.7.3 Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (MEMS)

Für fluoridierte Treibhausgase wurden im Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario keine über das Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario hinausgehenden Maßnahmen angenommen.

2.7.8 Landwirtschaft

Im Rahmen des Projektionsberichts wurden die Szenarien für die Landwirtschaft gemeinsam mit dem Thünen Institut entwickelt. Das Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) und das Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS) wurde vom Thünen Institut gerechnet, das Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (MEMS) vom Öko-Institut.

2.7.8.1 Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS)

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 Direktzahlungen²⁵.

Für den aktuellen Finanzierungszeitraum 2014-2020 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
3. Ausweisung einer Flächennutzung im Umweltinteresse („ökologischen Vorrangflächen“) auf zunächst 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

²⁵ 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.

Emissionsreduktionen in der Landwirtschaft führen²⁶ und sind in Bezug auf die THG-Emissionen nicht quantifiziert worden.

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-Programme²⁷ 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 z.B. die Reduzierung des Einsatzes mineralischer Stickstoffdünger durch Ökologischen Landbau .

2.7.8.1.1 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. 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.

2.7.8.1.2 Ordnungsrecht

Dieses Szenario enthält keine ordnungsrechtlichen Maßnahmen.

²⁶ z.B. durch Bindung von Luftstickstoff bei Ausdehnung des Anbaus von Leguminosen. Die Einrichtung „ökologischer Vorrangflächen“ zielt vorrangig auf den Erhalt der Biodiversität ab.

²⁷ 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.

2.7.8.2 Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS)

2.7.8.2.1 Finanzielle Anreize

Dieses Szenario enthält dieselben finanziellen Förderungen wie das Mit-Maßnahmen-Szenario.

2.7.8.2.2 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 Düngeplanung, Bewertung der betrieblichen Nährstoffbilanzen (Nährstoffvergleich), Sperrfristen für die Ausbringung von Düngemitteln im Herbst und Winter, Mindestlagerkapazitäten für Wirtschaftsdünger, Anforderungen an emissionsreduzierte Ausbringungstechniken und -verfahren sowie Obergrenzen für die Ausbringung von Stickstoff aus organischen Düngemitteln pro Hektar. Diese lassen einen effizienteren und ressourcenschonenderen Einsatz von Stickstoff und somit einen Rückgang des Stickstoffüberschusses erwarten. Um Emissionen reaktiven Stickstoffs im Sektor Landwirtschaft zu verringern, wird im Zuge von Effizienzsteigerungen bei der Düngung eine deutliche Senkung der Stickstoffüberschüsse angestrebt. 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 NH₃-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 NH₃-Emissionen aus der Landwirtschaft erreichbar, u.a. die Abdeckung von Güllelagern, die sofortige Einarbeitung oder Injektion von Wirtschaftsdüngern in den Boden, der Einsatz von Ureasinhibitoren 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).

2.7.8.3 Mit-erweiterten-Maßnahmen-Szenario (MEMS)

Nach dem Klimaschutzplan sollen bis zum Jahr 2030 die Emissionen aus der Landwirtschaft auf 58-61 Mio. t CO₂-Äquivalente sinken. Im Vergleich zum Jahr 2014 entspricht das einer Minderung von 16 % bis 20 %. Um das Parisziel bis zum Jahr 2050 einzuhalten, ist eine weitere Minderung notwendig. Nach der EU Road Map 2011 sollen die Emissionen aus dem Landwirtschaftssektor im Vergleich zum Jahr 1990 um 42 %- 49 % gesenkt werden, um eine Gesamtreaktion von 80 % ggü. 1990 zu erreichen. Bei einem 95 % Gesamtziel müsste auch der Landwirtschaftssektor seine Emissionen weiter reduzieren, da sonst der Großteil des verbleibenden Gesamtbudgets auf den Landwirtschaftssektor entfallen würde. Ohne eine genauere Lastenteilung zwischen den Mitgliedsstaaten zu unterstellen, kann davon ausgegangen werden, dass daher mindestens eine Halbierung der Emissionen (ggü 1990) für den Landwirtschaftssektor bis 2050 angestrebt werden muss. Da die Landwirtschaft auf natürlichen bio-

chemischen Prozessen basiert und in und mit der Natur, d.h. in offenen Systemen wirtschaftet, sind die Beiträge durch die Technik stärker begrenzt als in anderen Sektoren. Somit müssen alle heute erkennbaren Maßnahmen umgesetzt werden, weshalb kaum Spielräume zur Schwerpunktsetzung zwischen einzelnen Maßnahmen bestehen.

2.7.8.3.1 Finanzielle Anreize

Dieses Szenario enthält dieselben finanziellen Förderungen wie das Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario.

2.7.8.3.2 Ordnungsrecht

a) Verschärfung der Düngeverordnung:

Nach Schätzungen des Projektionsberichts 2017 ist bei vollständigem Vollzug der in Kraft getretenen Novelle der Düngeverordnung mit einer Reduktion der Stickstoffeinsätze von ca. 20 kg N pro Hektar zu rechnen. Da die Tierbestände nicht reduziert werden, erfolgt die Einsparung über einen Rückgang des Mineraldüngereinsatzes. Basierend auf durchschnittlichen Stickstoffüberschüssen von 94 kg N/ha (Gesamtbilanz) sind das 74 kg N/ha. Der Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung setzt als Ziel für das Jahr 2030 jedoch Stickstoffüberschüsse in Höhe von 70 kg N/ha voraus – 4 kg mehr als im MWMS (Vgl. 2.7.8.2). Durch eine Verschärfung der Grenzwerte für Stickstoffüberschüsse, eine Umstellung der Bilanzierung der Stickstoffüberschüsse auf Basis der Gesamtbilanzierung und eine Verschärfung der Sanktionen bei Verstößen gegen die Verordnung können diese zusätzlichen Emissionsreduktionen erzielt werden. Zur Unterstützung der ordnungsrechtlichen Maßnahmen und zum erfolgreichen Vollzug der Düngeverordnung sind ökonomische Instrumente und finanzielle Anreize vor allem im Umgang mit dem Wirtschaftsdünger notwendig. Solange der Stickstoffeintrag nicht über eine Abstockung der Tierbestände erfolgt, erfolgt die Reduktion über eine Verringerung des Mineraldüngereinsatzes und einem gezielteren Wirtschaftsdüngereinsatz.

Um bis 2050 weitere Emissionsminderungen durch eine Verringerung des Stickstoffeintrages erreichen zu können, ist aber auch mittelfristig eine weitere Senkung der Stickstoffüberschüsse auf 50 kg N/ha nach der Gesamtbilanz nötig, so wie Umweltverbände und das UBA sie fordern. Dieser Trend wird im MEMS eingeleitet, muss aber zur Zielerreichung weiter geschärft und fortgeführt werden (siehe 3.1.12.6).

b) Einsatz von Nitrifikationsinhibitoren:

Der Einsatz von Nitrifikationsinhibitoren zielt auf eine direkte Senkung der Lachgasemissionen aus den ammoniumhaltigen Stickstoffdüngern ab. Durch den Einsatz von Hemmstoffen wird die Umwandlung von Ammonium in Nitrat verzögert, wodurch das Nitratauswaschungsrisiko verringert wird was letztlich auch indirekte N₂O-Emissionen reduziert. Durch die Verringerung der Verluste kann ein höherer Anteil von den Pflanzen aufgenommen werden, was die Effizienz der Düngung erhöht.

Die Option ist bereits lange bekannt und diskutiert. Nach einem Gutachten des wissenschaftlichen Beirats für Düngungsfragen aus dem Jahr 1996 (Bundesrat 1996) wurden bereits zu jener Zeit positive Einflüsse auf die Reduktion der direkten N₂O-Emissionen bestätigt. Auch aktuellere Literaturlauswertungen belegen für einige Standorte die Wirksamkeit der Maßnahme zur Reduktion von direkten N₂O-Emissionen aus dem Düngemiteleintrag (Flessa et al. 2014b). Insgesamt haben aber auch Witterungs- und Bodenverhältnisse sowie Bewirtschaftungspraktiken einen ebenso hohen Einfluss auf die Nitrifizierung und Denitrifikation (ebenda). Neuere Studien weisen ebenfalls darauf hin, dass durch den Einsatz der Inhibitoren die indirekten Lachgasemissionen (resultierend aus erhöhten Ammoniakemissionen) erhöht und unter Umständen sogar die Einsparungen der direkten Lachgasemissionen aufwiegen könnten (Lam et

al. 2017). Nachteilig ist aus heutiger Sicht außerdem, dass die Inhibitoren als wassergefährdende Stoffe gelten deren Abbaubarkeit und Auswirkungen auf aquatische Lebensgemeinschaften noch nicht abschließend bewertet ist (Scheurer et al. 2014). Damit ist in diesem Bereich weitere Forschung und Entwicklung notwendig, um einerseits die tatsächlichen Emissionsreduktionen genauer zu belegen und andererseits Umweltauswirkungen auf Gewässer etc. bei der Anwendung auszuschließen zu können.

In der Praxis findet dieses Verfahren bisher keine breite Anwendung. Als Gründe hierfür werden überwiegend die Mehrkosten für den Einsatz der Hemmstoffe genannt und die Unsicherheiten hinsichtlich der wirtschaftlichen Rentabilität. Für eine breitere Anwendung in der Praxis besteht neben einer finanziellen Förderung über Agrarumweltmaßnahmen, die Möglichkeit den Einsatz der Inhibitoren in der Novelle der Düngeverordnung rechtlich zu verankern. Hierfür fehlt aber bisher eine standörtlich differenzierte Datengrundlage zu den Änderungen sämtlicher Stickstoffflüsse und zu den Umweltauswirkungen z.B. auf Gewässer, die durch den Einsatz der Nitrifikationshemmstoffe induziert werden.

Für die Berechnungen des MEMS wurde der Einsatz von Inhibitoren berücksichtigt. Literaturauswertungen zeigen eine durchschnittliche Minderung der N₂O Emissionen von 38 % durch den Einsatz von Nitrifikationsinhibitoren in mineralischen Düngemitteln als auch in Flüssigmüldüngern und Biogasgülle (Flessa et al. 2014a). Zur Abschätzung der Emissionsreduktion durch den Einsatz von Nitrifikationshemmstoffen wurde als Szenarioannahme ein Reduktionspotenzial der N₂O-Emissionen für die Düngung (bezogen auf die eingesetzten Mineraldünger und Gülle) von 25 % angenommen. Unter der Annahme, dass sich das Spektrum der Zusammensetzung der verwendeten Dünger zukünftig nicht stark verändert, wird diese prozentuale Minderung ab dem Jahr 2025 für diese Quellgruppe angenommen).

2.7.8.3.3 Finanzielle Anreize

a) Ausweitung des Flächenanteils des Ökolandbaus:

Die Ausweitung des Ökolandbaus trägt zu einer weiteren Reduktion der Stickstoffeinsätze bei. Durch den kompletten Verzicht auf Mineraldünger auf Ökolandbauflächen und eine Deckung des Nährstoffbedarfs über Leguminosen²⁸ und Wirtschaftsdüngereinsätze sowie Stickstoffspeicherung über Zwischenfrüchte, Fruchtfolgen etc. können N₂O-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden durch den Ausbau der Ökolandbaufläche verringert werden²⁹. Gleichzeitig sind durch die Flächenbindung der Tierhaltung³⁰ die Stickstoffüberschüsse für tierhaltende Betriebe geringer und damit auch das Emissionsrisiko (Muller et al. 2017)³¹.

Der Klimaschutzplan der Bundesregierung greift das Ziel der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie von 20% Ökolandbau³² auf. Um jedoch bis 2030 eine entsprechende Ausweitung des Ökolandbaus zu erreichen, sind deutlich mehr finanzielle Mittel erforderlich.

²⁸ In der neuen Version der IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories von 2006 wurde empfohlen, den Prozess der biologischen Fixierung selbst als Quelle für N₂O-Emissionen im Boden auszuschließen.

²⁹ Die angenommene Minderung an Treibhausgasemissionen bezieht sich hierbei auf die Nutzfläche, nicht auf die Produktionsmenge, was in der Quellenbilanz zu Emissionsminderungen führt. Die politische Förderung des ökologischen Landbaus erfolgt zudem auch durch die zahlreichen anderen positiven Umweltaspekte des Ökolandbaus (Biodiversität, Tierwohl, geschlossene Kreisläufe etc.).

³⁰ Diese Maßnahme erzielt besonders gute Wirkung, wenn intensive Pflanzenbaubetriebe umstellen. Noch besser wird die Bilanz, wenn tierhaltende Betriebe mit einer höheren Viehdichte als der Ökolandbau umstellen, so dass der Viehbestand im Saldo sinkt. Der Produktionsrückgang im Ökolandbau führt dabei nicht zu Versorgungsengpässen, da die deutsche Landwirtschaft über hohe Exportüberschüsse verfügt. Durch nachfrageseitige Instrumente, die auf eine Verringerung des Verzehrs tierischer Produkte abzielen, gelangt diese Maßnahme zu ihrer vollen Kraft.

³¹ Bei dieser Studie handelt es sich um eine Meta-Studie die mehrere einschlägige Forschungsarbeiten ausgewertet hat.

³² Bezogen auf die landwirtschaftliche Nutzfläche

Über eine komplette Ausschöpfung der Umverteilung der GAP-Mittel aus der ersten in die zweite Säule von derzeit möglichen 15% könnte das Budget zur gezielten Förderung von Agrarumweltmaßnahmen und Klimamaßnahmen wie z.B. dem Ökolandbau erhöht werden. Um das Ziel von 20% Ökolandbau zu erreichen, würden Abschätzungen zufolge in etwa 690 Mio. € zusätzliche Mittel allein für die Umstellungsjahre benötigt werden (Verbändepapier 2016) und weitere Mittel für die Beibehaltung. Für das MEMS wird angenommen, dass bis zum Jahr 2050 der Anteil des Ökolandbaus 20 % an der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche erreicht. Bei einer linearen Entwicklung (bis 2050) werden im Jahr 2030 13 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche ökologisch bewirtschaftet.

- b) Erhöhung der Vergärungsrate von Wirtschaftsdüngern sowie Abdeckung der Güllelager plus Abfackelung des gesammelten Methans:
Der Ausbau der Vergärung von Wirtschaftsdüngern und Reststoffen in Biogasanlagen in Kombination mit einer gasdichten Lagerung der Gärreste führt zu weiteren Emissionsreduktionen in der Landwirtschaft und zu einer Erhöhung des Anteils Erneuerbarer Energien insgesamt. Entsprechend hohe Vergütungen durch das EEG oder ein anderes Förderinstrument wären hierfür notwendig. Eine Förderung über die Agrarumweltmaßnahmen der GAP ist derzeit in Kombination mit dem EEG nicht möglich. Um eine höhere Vergärungsrate von bis zu 50 % im Jahr 2035 zu erzielen, müssen entsprechende finanzielle Anreize gesetzt werden. Gegenüber einem Ohne-Maßnahmen-Szenario, welches von einer Vergärung von 17 % im Jahr 2014 ausgeht, wird im MEMS von einer Vergärungsrate von 50 % bis zum Jahr 2035 ausgegangen. Das MMS und das MWMS setzen eine Steigerung der Wirtschaftsdüngervergärung auf 30 % bis 2035 voraus.
- c) Wiedervernässung von landwirtschaftlich genutzten organischen Böden: Die Wiedervernässung und die damit verbundene Nutzungsaufgabe von landwirtschaftlich genutzten organischen Böden bietet große Reduktionspotenziale. Während die vermiedenen CO₂-Emissionen im LULUCF-Sektor bilanziert werden, werden im Landwirtschaftssektor die N₂O-Emissionen berichtet, die aus der Freisetzung von Stickstoff durch die fortschreitende Mineralisierung der Böden stammen. Die Annahmen zur Aufgabe der landwirtschaftlichen Produktion auf organischen Böden folgt der Flächenentwicklung des LULUCF-Modells.

2.7.8.3.4 Flankierende und informatorische Instrumente

Sinnvolle flankierende Maßnahmen sind solche mit Auswirkung auf die Nachfrageseite, wie Maßnahmen zur Reduktion von Lebensmittelabfällen und Bildungsmaßnahmen für eine gesunde und umweltgerechte Ernährung. Veränderungen auf der Nachfrageseite (z.B. Lebensmittelabfälle, geänderte Diäten) verbessern zwar die ökologische Bilanz der Ernährung in Deutschland, führen aber nicht zwangsläufig zu einer Veränderung der Agrarproduktion, da Agrarprodukte weltweit handelbare Güter sind (UBA 2014c). Auf der Ebene der quantitativen Modellierung werden diese Maßnahmen nicht weiter berücksichtigt. Die Erklärung dafür liegt in der immer weiter steigenden Nachfrage nach Biomasse für die industrielle und energetische Nutzung. Das heißt, dass die Landwirtschaft auf der gleichen Fläche produziert, aber für einen anderen Anwendungszweck. Für die nationale Emissionsbilanz des Landwirtschaftssektors geht damit also nicht zwangsläufig eine Minderung einher. Sichtbar werden Nachfrageveränderungen stattdessen auf der Ebene der Potenziale für stoffliche und energetische Biomassenutzungen oder in den Agraraußenhandelsbilanzen oder Selbstversorgungsgrade. Die Verringerung von Lebensmittelabfällen ist also eine höchst sinnvolle Klimaschutzmaßnahme, da der Druck auf landwirtschaftliche Flächenausweitung durch eine bessere bzw. effizientere Nutzung verringert wird. Mit Blick auf den Flächendruck können so auch Extensivierungsmaßnahmen (wie z.B. die Zunahme des ökologischen Landbaus) kompensiert werden. Für die Veränderungen der Diäten gilt prinzipiell

das gleiche. Bei einer Verringerung der Nachfrage nach tierischen Produkten könnte aber prinzipiell das Produktionsniveau in der Viehwirtschaft gesenkt werden, ohne das Importe für diese Produkte notwendig wären (also ohne sog. Leaching Effekt).

Bis 2030 schlagen derart tiefgreifende Maßnahmen noch nicht durch. Für den Zeitraum bis 2050 sind sie jedoch notwendig um die eingangs genannte Halbierung der Emissionen dieses Sektors überhaupt erreichen zu können. Die Einleitung dieser Maßnahmen sollte dennoch bereits heute erfolgen, da Verhaltensänderungen im Bereich der Ernährung nur geringe Akzeptanz haben bzw. diese nur langsam finden werden (vergleiche die politische Diskussion um die Einführung eines sog. Veggiedays).

2.7.9 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 CO₂e auf. In den Kategorien Ackernutzung, Grünlandnutzung, Siedlungen und Feuchtgebiete entstanden Netto-Emissionen in Höhe von zusammen 45,1 Mt CO₂e. 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 CO₂e 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 Inanspruchnahme zusätzlicher Flächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke bis zum Jahr 2030 auf unter 30 ha pro Tag zu begrenzen (Bundesregierung 2016a).

2.7.9.1 Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS)

- a) Begrenzung der Inanspruchnahme zusätzlicher Flächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke bis zum Jahr 2020 auf 30 ha pro Tag durch nachhaltiges Flächenmanagement, danach weitere Abnahme.³³
- b) Die Erhaltung von Dauergrünland ist eine Maßnahme im Aktionsprogramm Klimaschutz 2020. Die Umsetzung der im Rahmen der GAP-Reform eingeführten Greening-Auflagen zur Grünlanderhaltung 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 ange-

³³ Laut persönlicher Mitteilung des Thünen-Instituts wurde dieser Wert bereits ab dem Jahr 2020 statt 2030 eingestellt.

nommen, dass die Grünlanderhaltung auch über das Jahr 2020 und damit über die Geltung der aktuellen EU-Agrarpolitik hinaus bis zum Jahr 2035 fortgesetzt wird.³⁴

- 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 Kohlenstoffsенке 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.

2.7.9.2 Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS)

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

2.7.9.3 Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (MEMS)

- a) Die Annahmen im MMS zur Nutzung neuer Flächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke werden im MEMS beibehalten.
- b) Der Torfabbau in Deutschland wird im Zeitraum von 2020 bis 2030 eingestellt (Torfabbauverbot). Um einen steigenden Import an Torf zu vermeiden, wird auf Bundes- und Länderebene die Produktion qualitativ geeigneter Torfersatzstoffe (bspw. aus Komposten aus der Abfallverwertung) subventioniert und die Vermarktung von regionalen Torfersatzstoffen (an Betriebe im Gartenbau, örtliche Handelspartner) z.B. durch die Vernetzung der Akteure unterstützt. Zudem werden Beschaffungsrichtlinien des Bundes und der Länder hin zu einer verstärkten Nutzung von Torfersatzstoffen (z.B. bei Vergabe von Aufträgen) angepasst.
- c) Schutz von Moorböden: Bisher existiert kein Moorschutzprogramm auf Bundesebene, aber alle moorreichen Bundesländer verfügen über eigene Moorschutzprogramme. Über den Europäischen Landwirtschaftsfond für die Entwicklung des ländlichen Raumes (ELER) sind EU-Fördermittel für den Moorschutz verfügbar. Neben den ELER-Fonds verwenden die Länder für den Moorschutz auch EU-Fördermittel des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE). Moorschutz wird im ELER durch flächenbezogene Verpflichtungen, die auf eine umweltverträgliche Bewirtschaftung abzielen, betrieben. Die Wiedervernässung von Mooren wird im EFRE gefördert. In einigen Bundesländern existieren weitere Förderungen für den Schutz von Moorböden. In Niedersachsen fördert die NBank Klimaschutz durch Moorentwicklung³⁵ durch einen nicht rückzahlbaren Zuschuss. In Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg werden über den Verkauf von „Moorfutures“³⁶ die vermiedenen Treibhausgase durch eine Wiedervernässung von Mooren in Wert gesetzt.
Es wird im Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario angenommen, dass die Aktivitäten der Länder durch Maßnahmen zum Schutz der Moorböden auf Bundesebene unterstützt werden, so dass ein deutlich ambitionierter Moorschutz erreicht werden kann. Mögliche Maßnahmen wären z.B. Mikro-Flurbereinigungen im Falle von Hofaufgaben, bei denen im Flächentausch mit benachbarten Betrieben gezielt Moorstandorte aus der Nutzung genommen werden, ggf. flan-

³⁴ Laut persönlicher Mitteilung wurde dieser Aspekt vereinfacht in den Berechnungen als Umbruchverbot von Grünland zu Ackerland ab dem Jahr 2016 angenommen.

³⁵ <https://www.nbank.de/medien/nb-media/Downloads/Programminformation/Produktinformationen/Produktinformation-Klimaschutz-durch-Moorentwicklung.pdf>

³⁶ <http://www.moorfutures.de/>

kiert durch Entschädigungszahlungen³⁷ an Landwirte bzw. Landbesitzer.

Es kann angenommen werden, dass ca. 70% der landwirtschaftlich genutzten Moorböden für eine Wiedervernässung geeignet sind (siehe z.B. Billen et al. 2015). Für diesen Flächenanteil wird im Folgenden eine Wiedervernässung angenommen. Auf den übrigen 30% der Ackerflächen auf organischen Böden wird angenommen, dass sie zu Grünland oder Wald umgewandelt werden. Für Acker- und Grünland auf organischen Böden wird jeweils eine jährliche Rate von 5% Nutzungsänderung angenommen. Dies führt zu den folgenden Flächenumwandlungen³⁸:

- a. Wiedervernässung von Ackerland auf Moorstandorten: 3,5% über 20 Jahre (70% der Flächen in 2014 ab 2020).
- b. Bewaldung von Ackerland auf Moorstandorten: 1,0% über 20 Jahre (20% der Flächen in 2014 ab 2020).
- c. Umwandlung von Ackerland auf Moorstandorten zu Grünland: 0,5% über 20 Jahre (10% der Flächen in 2014 ab 2020).
- d. Wiedervernässung von Grünland auf Moorstandorten: 3,5% über 20 Jahre (70% der Flächen in 2014 ab 2020).

Im Zuge des Moorschutzes beginnen Flächenumwandlungen 2021 und enden 2040 (20 Jahre), so dass im Jahr 2035 ca. 75% erreicht werden.

Zudem wird aufbauend auf den Annahmen zum Erhalt von Dauergrünland im MMS angenommen, dass ab dem Jahr 2021 eine striktere Ausgestaltung der GAP-Reform dazu führt, dass ein generelles Umbruchverbot von Dauergrünland auf organischen Böden eingeführt wird. Es entfällt die Möglichkeit, Grünland auf organischen Böden umzubrechen und stattdessen eine gleich große Ersatzfläche mit neuem Dauergrünland zu etablieren. Da sich diese Maßnahme ausschließlich auf Dauergrünland auf organischen Böden bezieht, wird sie in der Maßnahme Schutz von Moorböden berücksichtigt.³⁹

- d) Waldbewirtschaftung: Dem Schutz der biologischen Vielfalt in Wäldern kommt eine hohe Bedeutung zu. Eine Intensivierung der Waldbewirtschaftung kann durch den Ersatz von energieintensiven Stoffen durch Holzprodukte in anderen Sektoren zum Klimaschutz beitragen. Allerdings ist dieser Beitrag vom aktuellen Energiemix und zahlreichen Annahmen über Maßnahmen in anderen Sektoren abhängig. Der Wald selbst trägt dadurch nicht zum Klimaschutz bei – im Gegenteil, die Kohlenstoffvorräte im Wald werden durch Intensivierung eher verringert. Allerdings bringt eine Intensivierung meist negative Auswirkungen auf Naturschutzaspekte mit sich. Die hier beschriebenen Maßnahmen sind so gewählt, dass sie sowohl dem Klimaschutz als auch dem Schutz der biologischen Vielfalt und anderer Naturschutzaspekte zugutekommen. Aufbauend auf dem MMS wird angenommen, dass über Förderprogramme wie den Waldklima-

³⁷ Aktuell werden 4,85 Mrd. EUR pro Jahr an direkten EU-Fördermitteln (1. Säule) für landwirtschaftliche Flächen bereitgestellt (<https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Agrarpolitik/Texte/GAP-NationaleUmsetzung.html>). Ackerland und Grünland auf organischen Böden mit einem Flächenanteil von 7,3% (UBA 2017b) werden mit mindestens 354 Mio. EUR/a gefördert (konservativ betrachtet, da Moorstandorte einen erhöhten Grünlandanteil mit höheren Fördersätzen aufweisen). Bei Emissionen von 36,8 Mio. t CO₂/a auf diesen Moorstandorten (UBA 2017b) bedeutet dies, dass auf die Emission von 1 t CO₂ mindestens 9,6 EUR an direkten EU-Fördermitteln kommen. Bei einer Wiedervernässung von landwirtschaftlichen Flächen ist mit Kosten – inklusive Verdienstausschlag – in Höhe von 10-70 EUR zu rechnen (vgl. Osterburg et al. 2013 und Billen et al. 2015).

³⁸ Im Hinblick auf eine extensive Grünlandnutzung auf Moorstandorten sind nur geringe zusätzliche THG-Minderungen zu erwarten, weshalb diese Option nicht modelliert wird. Eine Nutzung wiedervernässter Moorstandorte als Palidukultur schmälert die THG-Minderung im Vergleich zur alleinigen Wiedervernässung deutlich, weshalb diese Option im Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario nicht berücksichtigt wird.

³⁹ Aufgrund der Modelleinstellung in den Berechnungen des Thünen-Instituts ist bereits im MMS ein Umbruchverbot berücksichtigt, so dass für diesen Aspekt in den Modellergebnissen keine Unterschiede zwischen MMS und MEMS erreicht werden.

fond die Waldbewirtschaftung stärker an Naturschutzanforderungen ausgerichtet wird. Hierzu zählen:

- a. Ausweitung von Flächen mit natürlicher Waldentwicklung in Anlehnung an das WEHAM NaturschutzPräferenzSzenario, in dem auf Flächen mit bereits existierenden Nutzungseinschränkungen diese erhöht werden. Während das WEHAM Naturschutz-PräferenzSzenario die Flächen mit einer Nutzungseinschränkung um nur eine Stufe anhebt (von 66% auf 100% und 33% auf 66%), werden im MEMS alle Flächen mit bestehenden Nutzungseinschränkungen generell auf 100% angehoben. Die Flächen ohne Holznutzung entsprechen so einem Anteil von 7.9% der Gesamtwaldfläche und schließen sowohl Staats- als auch Privatwald ein.
- b. Extensivierung im Staatswald auf „naturnahen“ Standorten, auf denen die Hauptbaumart bereits der potentiell natürlichen Vegetation entspricht. Die Extensivierung umfasst eine Dauerwaldbewirtschaftung, 20% höhere Zieldurchmesser und 20% geringere Intensität der Eingriffe.
- e) Holzspeicher: Aus der veränderten Waldbewirtschaftung unter Punkt d) resultiert eine Verringerung des Holzaufkommens gegenüber dem MMS. Die Maßnahmen wirken sich vor allem auf den Einschlag von Laubbäumen aus, wobei der Einschlag von Nadelbäumen dem im MMS ähnelt. Da gerade Nadelbäume als langlebige Holzprodukte genutzt werden, wird davon ausgegangen, dass der Aufbau des Holzspeichers nicht zurückgeht, sondern gegenüber dem MMS leicht gesteigert werden kann. Dies wird dadurch abgebildet, dass der Wert für langlebige Holzprodukte aus dem Jahr 2015 fortgeschrieben wird. Hingegen geht der Anteil der direkten energetischen Nutzung von Holz (meist Laubholz) zurück.

Somit ergeben sich drei Maßnahmen, die sich im MEMS gegenüber dem MMS unterscheiden:

- Torfabbau untersagt (b)
- Schutz von Moorböden (c)
- Waldbewirtschaftung (d)

2.7.10 Abfallwirtschaft

Vorbemerkung: Hier werden nur Maßnahmen beschrieben, die nicht-energetische Treibhausgasemissionen der Abfallwirtschaft adressieren. Maßnahmen zur Reduktion des Energieverbrauchs und bzw. oder der energiebedingten Treibhausgasmissionen der Abfallwirtschaft sind entsprechend der Systematik des Nationalen Treibhausgasinventars in den Abschnitten 2.7.1 bis 2.7.5 beschrieben.

2.7.10.1 Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS)

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 (AbfAbIV) von 2001, die ab Juni 2005 die Ablagerung unbehalteter 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 Abfallablagerungsverordnung 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 6 Deponien im Jahr 2013 bis zum Jahr 2016 auf über 20 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 Jahren⁴⁰. 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 Deponiegasmodell auf den Betrachtungszeitraum gleichmäßig verteilt.

2.7.10.2 Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS)

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 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 Getrenntfassungspflichten, Vorbehandlungsgebot für Siedlungsabfälle sowie Anforderungen an Sortieranlagen
Die Verordnung über die Bewirtschaftung von gewerblichen Siedlungsabfällen und von be-

⁴⁰ vgl. hierzu: Wolfgang Butz: Fachtagung Bio- und Deponiegas am 19./20.04.2016 „Förderung von Klimaschutzprojekten auf Deponien durch die nationale Klimaschutzinitiative (NKI)“ Lübeck 2016 und Wolfgang Butz, persönliche Mitteilung Juli, 2016

stimmten 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.

2.7.10.3 Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (MEMS)

Zusätzlich zu den bisher berücksichtigten Maßnahmen sind im Abfallbereich insbesondere Maßnahmen im Bereich der Abfallvermeidung möglich, insbesondere bezüglich der Verlängerung der Lebensdauer (Produktdesign) und Intensivierung der Nutzung von Produkten (Sharing, Wiederverwendung). Diese wirken sich aber nur bedingt im Sektor Abfall aus. Im Wesentlichen werden hierdurch Einsparungen bei der Herstellung von Produkten im Sektor Industrie initiiert, die zum großen Teil außerhalb von Deutschland realisiert werden und zudem kaum genauer beziffert werden können. Ähnlich ist die Situation in Bezug auf noch intensivere Umsetzung von Recyclingbemühungen, die in gewissem Umfang noch denkbar wären.

Eine weitergehende Reduktion der Emissionen im Sektor Abfallwirtschaft betrifft insbesondere die Maßnahmen im Bereich der Abfalldeponierung. Durch Optimierung und zeitliche Ausweitung der schon laufenden und bisher berücksichtigten Maßnahmen zur Belüftung von Deponien könnte der Rückgang der Treibhausgasemissionen aus Altdeponien weiterhin beschleunigt 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 Ökodesign- 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 und 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 Energieeffizienzverpflichtungssystems 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 Zieles (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 ¹⁾			
Wettbewerbliche Ausschreibungen (MMS)				
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
Wettbewerbliche Ausschreibungen (MWMS)				
Industrie	7,5	15,0	19,5	19,5
Energieeffizienzverpflichtungssystem				

Jahr	2020	2025	2030	2035
(MWMS)				
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

¹⁾ 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 und Fraunhofer ISI (2017)

Im Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario wurde das Energieeffizienzverpflichtungssystem noch ambitionierter ausgestaltet und weitere sektorübergreifende Instrumente (Verschärfung des EU-Emissionshandels, CO₂-Aufschlag Energiesteuer, Pilotprogramm Einsparzähler, ambitionierte Weiterverfolgung der Ökodesign-Richtlinie) in die Szenarioberechnungen aufgenommen. Eine Beschreibung der Ausgestaltung und der Annahmen findet sich in Abschnitt 2.6.3 sowie in den jeweiligen Sektorkapiteln.

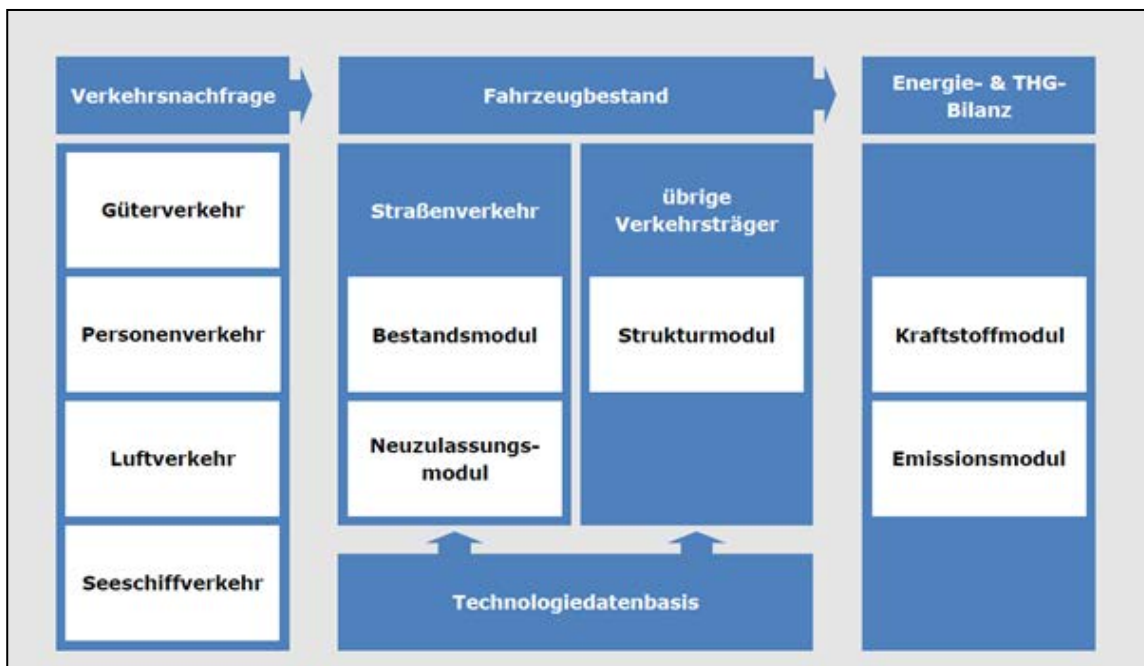
3.1.2 Verkehr

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 TEMPS⁴¹-Modell, welches in mehreren Projekten angewendet und weiterentwickelt wurde (u.a. Zimmer et al. 2016). 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.

⁴¹ TEMPS – Transport **E**missions and Policy **S**cenarios

Abbildung 3-1: Flussdiagramm zum TEMPS-Modell



Quelle: (Öko-Institut 2013), (Zimmer et al. 2016)

Die Komponente *Fahrzeugbestand* des TEMPS-Modells dient dazu, die Technologie- und Effizienzentwicklung der Verkehrsträger abzubilden. Dies erfolgt aufgrund der Dominanz des Straßenverkehrs bei Pkw, Lkw und Bussen detailliert auf Fahrzeugebene; 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 Effizienzentwicklung und der Neuzulassungen variiert je nach Szenario in Abhängigkeit von den angenommenen Maßnahmen.

Die Komponente *Energie- und Treibhausgasbilanz* des TEMPS-Modells berechnet mittels der spezifischen Energieverbräuche der Verkehrsträger in Jahresschritten den Endenergieverbrauch für den Verkehrssektor, der für die Berechnung der Treibhausgasemissionen benötigt wird. Der Endenergieverbrauch bezieht sich in diesem Papier auf die Berichterstattung gemäß des Zentralen Systems Emissionen (ZSE). Da die Modellierung des Verkehrssektors in dieser Studie auf das Inlandsprinzip zurückgreift, wird 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 Aktivitätsraten⁴²) werden dem nationalen Verkehr folgende Bereiche zugeordnet: Ziviler inländischer Flugverkehr, Straßen- und Schienenverkehr, Binnen- und Küstenschiffahrt sowie Pipelinetransport. Der internationale zivile Flugverkehr und die internationale Seeschiffahrt sind nur nachrichtlich als sogenannte „Memo items“ enthalten. Land- und forstwirtschaftlicher Verkehr ist in der Quellgruppe Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei enthalten und der bauwirtschaftliche Verkehr in der Indust-

⁴² Im Treibhausgasinventar wird nicht von Energieverbräuchen gesprochen sondern allgemeiner von Aktivitätsraten.

rie. Militärischer Verkehr wird der Quellgruppe „andere Bereiche“ zugeordnet. Außerdem ist anzumerken, dass im Treibhausgasinventar auch Schmierstoffe im Energieverbrauch des Verkehrs enthalten sind.⁴³

- ▶ In der *Energiebilanz* sind im Endenergieverbrauch des Verkehrs der zivile Flugverkehr (Kerosinabsatz in Deutschland), der Straßen- und Schienenverkehr sowie Binnen- und Küstenschifffahrt enthalten. Hochseebunkerungen der internationalen Seeschifffahrt sind weder im Endenergie- noch im Primärenergieverbrauch enthalten.⁴⁴ 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 CO₂ 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 2.7.1 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 statischen 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 Wirksamkeit, bis 2020 die volle Wirkung der Maßnahme zum Tragen kommt.

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

⁴³ Die Zuordnung der Schmierstoffe zum Verkehr ist notwendig, da Schmierstoffe (zumindest teilweise) in den Motoren mitverbrannt werden und folglich auch Emissionen entstehen.

⁴⁴ Energieverbräuche der Seeschifffahrt (Hochseebunkerungen) sind in der Energiebilanz zwar im Energieaufkommen enthalten, tragen aber (ebenso wie Ausfuhr und Bestandsaufstockungen) nicht zum Primärenergieverbrauch bei.

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
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 (2016a) betragen die Gesamtkosten des ÖPNV im Jahr 2012 24,5 Mrd. €. Für die Berechnung der Elastizitäten werden 25 Mrd. € als Basis für 2015 genommen. Davon ausgehend werden die zusätzlichen Mittel mit den Elastizitäten verrechnet.

Durch die finanzielle Stärkung des ÖPNVs kommt es zu einem Anstieg der Verkehrsleistung des ÖPNV um 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.⁴⁵ 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 folgende Verlagerungspotential wird über die spezifischen CO₂ Emissionen von Straßen- und Schienengüterverkehr der relevanten Jahre aus TREMOD bewertet und die CO₂ 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 4,87 tkm/a/€. Im MMS wird die bewilligte 1. Tran-

⁴⁵ z.B. 5 Zugpaare pro Tag auf einem Streckenabschnitt oder 90.000 LE / Jahr einer Umschlagsanlage

che 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 CO₂ 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 Sattelzüge 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 CO₂-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 CO₂- Grenzwerte für Pkw, leichte Nutzfahrzeuge und schwere Nutzfahrzeuge

Für die Quantifizierung der Fortschreibung der CO₂-Grenzwerte werden 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 CO₂ 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 ₂ / 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 ₂ / 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 ₂ / 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 Annahmen und Parameter im MEMS

- a) Erhöhung der Energiesteuer und Anpassung der Bemessungsgrundlage an CO₂-Gehalt (CO₂-Aufschlag Energiesteuer)*

Es findet eine Angleichung der Energiesteuer pro Energiegehalt von Diesel zu Benzin ab 2020 ansteigend bis 2024 statt. Ab 2025 und ansteigend bis 2028 werden zusätzlich CO₂-Preise (80€/t in 2025 bzw. 150€/t in 2035) anhand des Kohlenstoff-Gehalts der Kraftstoffe veranschlagt. In der Modellierung des Gesamtszenarios, werden die CO₂-Preise jedoch methodisch in der Maut untergebracht, um eine doppelte Anrechnung zu vermeiden.⁴⁶

- b) Einführung eines ambitionierten Energieeffizienzverpflichtungssystems *

Die Einführung des ambitionierten Energieeffizienzverpflichtungssystems wird nicht separat berechnet. Daher werden dieser Maßnahme auch keine konkreten Minderungen zugeschrieben. Effekte können zum Beispiel bei den Effizienzsteigerungen durch Maßnahme g) enthalten sein.

- c) Straßennetzweite, fahrleistungsbezogene Maut für Kraftfahrzeuge

Es wird angenommen, dass dem Prüfauftrag zur Ausweitung der Maut auf Fern- und Reisebusse, wie er im aktuellen Beschluss zur Lkw-Maut steht, eine Ausweitung der Maut auf Busse auf allen Autobahnen und Bundesstraßen ab 2021 erfolgt. Die Höhe der Infrastrukturabgabe ist aus Alfen Consult GmbH

⁴⁶ Für die modellierten Nutzerpreise und damit für die getriggerten Effizienzentwicklungen bzw. Verkehrsnachfrageänderungen ergibt sich dabei kein Unterschied. Da die CO₂-Komponente der Maut modellintern direkt an den CO₂-Ausstoß der Fahrzeuge gebunden ist.

et al. (2014b) für das Jahr 2017 entnommen. Die externen Kosten werden äquivalent zu denen der SNF bewertet.

Ab 2025 erfolgt die Bemautung netzweit und für alle Fahrzeuge. Für die schweren Nutzfahrzeuge wird eher konservativ eine Erhöhung der Kilometerkosten auf 20 Cent angesetzt. Die erbrachte Fahrleistung auf Innerortsstraßen beträgt bei den SNF derzeit ca. 1/3. Damit wird mindestens 1/3 der Fahrleistungen auch mit der Ausweitung der Maut in 2018 nicht bemautet. Hierbei sind Landes- und Kreisstraßen außerorts nicht inbegriffen. Da die untergeordneten Straßen durch die starke Belastung einen höheren Verschleiß erfahren als die Bundesautobahnen wird angenommen, dass die Kilometerpreise für diesen Teil des Netzes deutlich höher ausfallen. Die Lkw zwischen 3,5 und 7,5t werden ab 2021 mit einem Satz von 3 Cent pro Kilometer bemautet (Alfen Consult GmbH et al. 2014b). Mit der netzweiten Ausweitung wird angenommen, dass die Kilometerpreise auf 5 Cent ansteigen.

Für Pkw wird der Mautsatz von 4 Cent pro km aus Renewbility III (Zimmer et al. 2016) übernommen. Für LNF wird ein leicht höherer Mautsatz von 4,5 Cent angenommen, entsprechend dem aktuell festgestellten Verhältnis der Wegekosten für Bundesautobahnen und Bundesstraßen.

Die externen Kosten (derzeit nur Luftschadstoffe nach Euro-Klassen) werden auf dem heutigen Niveau bis 2025 veranschlagt. Eine Auswertung der Fahrleistungen nach Euro-Klassen (TREMODO v5.64) und den momentanen Kostensätzen (Toll-Collect 2017) ergibt eine durchschnittliche Gebühr von 2,1 Cent pro Kilometer. Es wird davon ausgegangen, dass das heutige Niveau der externen Kosten durch zum Beispiel Verschiebungen der Euro Normen in den Schadstoffklassen oder Ergänzungen anderer Kosten wie z.B. den Lärmkosten konstant gehalten wird.

Ab 2021 wird von einer Bemautung der Busse auch bei den externen Kosten ausgegangen. Für Busse ergäbe eine potentielle Maut Kosten von 2,6 Cent pro Kilometer, wenn man die aktuellen Schadstoffkosten der SNF ins Verhältnis der Luftschadstoffkosten zwischen Bussen und SNF in UBA 2015b setzt. Die höhere resultierende Maut trotz der geringeren Kosten pro Kilometer liegt an der im Verhältnis zu den SNF schlechteren Durchdringung von neuen Euro-Klassen. Eine Netto-Minderung zum Beitrag der externen Kosten sollte in jedem Fall vermieden werden. Die heutige Bepreisung für Euro 6 Fahrzeuge sieht z.B. keine zusätzlichen Gebühren für externe Kosten vor und eine stärkere Durchdringung von Euro 6 Fahrzeugen ist sehr wahrscheinlich. Ab 2018 wird jedoch zumindest von EU-Ebene eine Bepreisung der Euro VI Fahrzeuge möglich (EU 2011). Weiterhin besteht aktuell ein Prüfauftrag zur Inklusion der Lärmkosten. Für eine Einigung auf die Einbeziehung der Lärmkosten bis 2021 besteht jedoch weiterhin Forschungsbedarf, da die anstehende Aktualisierung der UBA-Methodenkonvention zur Ermittlung von Umweltkosten⁴⁷ keine fahrleistungsbezogenen Lärmkosten enthalten wird.

Ab 2025 wird angenommen, dass die durchschnittlichen externen Kosten weiter ansteigen und 5 Cent pro km für SNF betragen. Für Busse werden 4,6 Cent veranschlagt. Die im Verhältnis niedrigeren Kosten als noch 2021 werden wie folgt begründet. Zum einen ist der bei den SNF zu beobachtende Effekt einer schnellen Durchdringung von neuen Euro-Klassen auch bei den Bussen zu erwarten, da diese auch im wirtschaftlichen Wettbewerb stehen. Der kostenseitige Nachteil wird hier schnell zu einer Umrüstung auf höhere und damit ökonomisch sinnvollere Schadstoffklassen erfolgen, womit der durchschnittliche Preis bei den Luftschadstoffen zurückgeht und die Diskrepanz zwischen SNF und Bussen aufgehoben wird. Zum anderen sind die gesamten externen Kosten pro Fahrzeugkilometer geringer als bei den SNF (UBA 2015b). Die 4,6 Cent errechnen sich daher aus dem Verhältnis der gesamten externen Kosten zwischen Bussen und SNF multipliziert mit den angenommenen 5 Cent der SNF. Pkw und LNF werden noch nicht mit externen Kosten belastet.

Ab 2030 werden dann die vollen externen Kosten für alle auf den Fahrzeugbestand im Jahr 2030 angerechnet. Abweichend werden für die Klimakosten die CO₂-Aufschläge aus der Energiesteuer zu Grunde

⁴⁷ Die Methodenkonvention 3.0 zur Ermittlung von Umweltkosten des UBA erscheint voraussichtlich Oktober 2018.

gelegt um Doppelbelastungen zu vermeiden. Hierbei werden die CO₂-Kosten nach den CO₂-Aufschlägen aus der Energiesteuer-Maßnahme (a) mit den jeweiligen Beständen der Jahre berechnet, um Effizienzentwicklungen zu berücksichtigen. Für Luftschadstoffe werden bei Pkw eine Reduktion um 70% und für Lkw eine Reduktion um 90% in 2030 angenommen. Abrieb, Lärm und Lebenszykluskosten sind vom Mautpapier des UBA (2015b) in Anlehnung an die Methodenkonvention 2.0 (UBA 2014a) entnommen. Die angenommen Kostensätze und Einführungszeitpunkte für die verschiedenen Fahrzeuge sind in Tabelle 3-9 noch einmal zusammengefasst.

Tabelle 3-9: Einführungsschritte der Maut nach dem Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario mit den unterstellten Abgaben in €-Cent / Fzg-km

	Ist (MMS)	ab 2019 (MWMS)	ab 2021	ab 2025	2030
Betroffenes Netz	Autobahn + 1100km B-Str.	Autobahn + alle B-Str.	Autobahn + alle B-Str.	Netzweit	Netzweit
Lkw => 7,5t	IA + tlw. EK 13, 6 + 2,1	IA + tlw. EK 14 + 2,1	IA + tlw. EK 14 + 2,1	IA + tlw. EK 20 + 5	IA + EK 20 + 17,4 (7,2 CO ₂)
Lkw < 7,5t		IA + tlw. EK 3 + 2,1	IA + tlw. EK 3 + 2,1	IA + tlw. EK 5 + 5	IA + EK 5 + 17,4 (7,2 CO ₂)
LNF				IA 5	IA + EK 5 + 10 (2,5 CO ₂)
Reise- u. Fernbusse			IA + tlw. EK 11,5 + 2,6	IA + tlw. EK 14 + 2,6	IA + EK 14 + 16,1 (7,9 CO ₂)
Pkw				IA 4	IA + EK 4 + 3,4 (1,7 CO ₂)

IA – Infrastrukturabgabe; EK – Externe Kosten

d) Aufbau Lkw-Oberleitungsinfrastruktur

Ab 2024 stehen Oberleitungs-Lkw als Kaufoption in der Neuzulassungsmodellierung zur Verfügung. Es wird keine elektrische Mindestfahrleistung vorgegeben, daher ist die Verteilung der Fahrleistung durch die Modellierung errechnet.

e) ÖPNV Finanzierung

Berschlin et al. (2012) ermittelten eine Steigerung von 2 Prozentpunkten p.a. des fahrplanmäßigen Angebots pro Einwohner (in km) nach der Umstellung auf eine stärker leistungs- und effizienzgebun-

dene Verteilung der Mittel für den ÖPNV. Dementsprechend wird ab 2025 eine Angebotssteigerung bis 2030 um insgesamt 10% angesetzt.

f) Förderung des Radverkehrs

Die Berechnung der verkehrsmindernden Wirkung erfolgt mittels einer Bottom-Up Schätzung analog zu der Radverkehrs-Maßnahme im Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 (Öko-Institut & Fraunhofer ISI 2017). Bei der Maßnahmenbewertung wurde ein Schlüssel zu vermiedenen bzw. verlagerten Pkm pro € Förderinvestition ermittelt. Es wird angenommen, dass die Förderung im Förderjahr nur zur Hälfte wirkt und in den Folgejahren den vollen Wirkumfang entfaltet. D.h. im Jahr 2020 werden 250 Mio. € wirksame Förderung angerechnet, im Jahr 2021 750 Mio. € etc.

Bei einer jährlichen Förderung von 500 Mio. € und einer Förderung von 2020 bis 2035 werden im Jahr 2030 6,2 Mrd. pkm vom MIV auf das Rad verlagert, im Jahr 2035 9,1 Mrd. Pkm und somit 0,9% der Verkehrsleistung im MIV.

g) Kraftstoffquote Biofuels und PtG/PtL

Bewertet wurde die Wirkung einer Umsetzung des Kommissionsvorschlags zur RED II. Zusätzlich wurde der allmähliche Hochlauf beim Einsatz von PtL im Kerosin (nach 2025) hinterlegt. Die folgende Tabelle zeigt die Annahmen zu den energetischen Anteilen der Kraftstoffe.

Tabelle 3-10: Biokraftstoffanteile und -kennwerte im MEMS

	2015	2020	2030	2035
Energetischer Anteil Bioethanol an Benzin	4,2 %	6,1 %	6,5 %	6,5 %
Energetischer Anteil Biodiesel an Diesel	5,7 %	6,5%	7,0 %	7,0 %
Energetischer Anteil PtL am Kerosin	0%	0%	5%	15%

Quelle: eigene Annahmen und Berechnungen

Angenommen wurde dabei ein zunehmender Einsatz fortschrittlicher Biokraftstoffe und das Phase-out aus konventionellen nahrungsmittelbasierten Kraftstoffen bis zum Jahr 2035.

h) Fortschreibung der CO₂ – Flottengrenzwerte, Ausweitung auf Lkw und ggf. Komplementierung mit einer Quote für Elektrofahrzeuge

Der herstellerspezifische Flottengrenzwert wird auf 20g pro km (nach NEFZ) in 2030 abgesenkt. Durch die Zielverpflichtung der Hersteller auf EU-Ebene ist eine Überschreitung der Flottengrenzwerte für einzelne Länder nicht auszuschließen. Daher wird die auf Deutschland bezogene Zielerfüllung durch eine komplementäre Mindestquote von 60 % elektrischer Fahrleistung in den Neuzulassungen ergänzt. Zusätzlich wird eine maximale Abweichung des Kraftstoff-Realverbrauchs von 15 % zu den Herstellerangaben ab 2025 unterstellt. Für die schweren Nutzfahrzeuge wird durch starke Effizienzfortschritte eine Reduktion des Treibstoffbedarfs um 30% bis 2030 in den Neuzulassungen erreicht.

Durch die starken Effizienzgewinne werden sowohl bei den Pkw als auch bei den Lkw Reboundeffekte betrachtet. Hierdurch kommt es zu einer Steigerung der Verkehrsnachfrage.

i) Tempolimit

Bei Fahrten auf freigegebenen Autobahnabschnitten wird eine potentielle Kraftstoffreduktion um 19% durch ein Tempolimit veranschlagt. Rund 30% der Fahrleistung von Pkw werden auf Autobahnen erbracht, davon sind rund 60% der Strecken ohne Geschwindigkeitsbegrenzung. Nimmt man einen Befolgungsgrad der Beschränkung von 80% an, kann das Tempolimit knapp 3% Kraft-

stoff auf den Gesamtverbrauch der Bestandsflotte erreichen. Zusätzlich kommt es zu einer Reisezeitverlängerung durch niedrigere Durchschnittsgeschwindigkeiten. Scholz et al. (2007) ermitteln eine Reduktion von durchschnittlich 10 bzw. 20 km/h auf betroffenen Abschnitten. Elastizitäten für Reisezeitverlängerungen gibt Litman (2013) mit -0,74 bei einer Kurzzeitelastizität von -0,2 an.

3.1.2.5 Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios

3.1.2.5.1 Entwicklung des Endenergieverbrauchs im MMS

Die Entwicklung des Endenergieverbrauchs des Verkehrssektors ist in

Tabelle 3-11 dargestellt. Gegenüber 2005 steigt der Endenergieverbrauch des nationalen Verkehrs bis zum Jahr 2020 um 1,2 % an⁴⁸. 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.

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.

Ein Trendbruch bei den Pkw-Neuzulassungen (deutliches Sinken des Anteils von Dieselfahrzeugen) wurde in den Modellierungen noch nicht berücksichtigt.

Tabelle 3-11: 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

⁴⁸ 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. 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 einen Prozentpunkt gemindert.

Brennstoff	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Summe (national)	2.293	2.243	2.306	2.308	2.225	2.200	2.197
Internat. Flugverkehr	310	328	332	373	402	427	436
Seeschifffahrt	90	104	83	84	87	89	87
Summe Gesamt	2.693	2.675	2.721	2.765	2.714	2.717	2.719

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 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 nominal (d.h. in Bezug auf die Testzyklusemissionen nach NEFZ⁴⁹) 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 0). Die Größenordnung dieses Effekts entspricht ca. 3 Mt Mehremissionen (ab 2020). Hierbei werden Biokraftstoffe mit Nullemissionen bewertet, d.h. die Vorkettenemissionen sind nicht berücksichtigt.⁵⁰

⁴⁹ Ab September 2017 soll der NEFZ durch den WLTP ersetzt werden. Da die CO₂-Emissionen nach WLTP und NEFZ jedoch nicht 1:1 vergleichbar sein werden, wird an dieser Stelle mit dem NEFZ argumentiert.

⁵⁰ 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 Treibhausgasminderungsquote dagegen zu einer Emissionsminderung. Durch die Umstellung auf eine Treibhausgasminderungsquote 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

- 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).

3.1.2.5.3 Bewertung der Einzelmaßnahmen im MMS

Die direkten Emissionsminderungen der Maßnahmen im MMS sind in Tabelle 3-12 dargestellt. Die Minderungen wurden dabei gegenüber einer (hypothetischen) Situation ohne Maßnahme ermittelt. Wechselwirkungen zwischen den Maßnahmen sind berücksichtigt.

Tabelle 3-12 weist die Emissionen durch die bewerteten Einzelmaßnahmen im MMS aus. Bei der Ausweisung der CO₂-Emissionen ist zu beachten, dass nur die direkten Emissionen bewertet werden. Die Vorkettenemissionen 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 Effizienzentwicklung der Verbrenner negativ beeinflussen kann, ist eine begrenzte Förderung bis zum Inkrafttreten der Flottengrenzwerte im Jahr 2021 sinnvoll.

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

Tabelle 3-12: Bewertung der Einzelmaßnahmen im MMS im Sektor Verkehr, direkte Emissionsminderungen

Direkte Emissionsminderung [Mt CO ₂]	Instrumententyp	Wirkungsbeginn	2020	2025	2030	2035
Weitere Ausweitung Lkw-Maut	E	2016	0,1	0,1	0,1	0,1
Förderung Elektromobilität	E	2016	0,5	0,4	0,2	0,1
Stärkung des öffentlichen Personenverkehrs	E	2016	0,1	0,2	0,2	0,2
Stärkung Schienenverkehr: SHHV II	E	2016	0,1	0,1	0,1	0,1
Gesamt			0,7	0,6	0,5	0,4

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

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

Die Tabelle 3-13 zeigt nachrichtlich die Emissionsänderungen bei Einbezug der indirekten Emissionen, welche größtenteils in den anderen Sektoren bei den direkten Emissionen (z.B. Strom) abgedeckt

kann, auch wenn diese Kraftstoffe über ihren Lebensweg nicht nachhaltig sind und Emissionen in andere Sektoren verschoben werden.

sind. Hierbei sind Werte mit deutlicher Abweichung zu den Werten ohne Einbezug der indirekten Emissionen kursiv markiert.

Tabelle 3-13: Nachrichtlich: Bewertung der Einzelmaßnahmen im MMS im Sektor Verkehr, direkte und indirekte Emissionsminderungen

Direkte und indirekte Emissionsminderung [Mt CO ₂]	Instrumententyp	Wirkungsbeginn	2020	2025	2030	2035
Weitere Ausweitung Lkw-Maut	E	2016	0,1	0,1	0,1	0,1
Förderung Elektromobilität	E	2016	0,2	0,2	0,1	0,0
Stärkung des öffentlichen Personenverkehrs	E	2016	0,1	0,2	0,2	0,2
Stärkung Schienenverkehr: SHHV II	E	2016	0,0	0,0	0,0	0,0
Gesamt			0,4	0,4	0,4	0,3

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

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

3.1.2.6 Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios

3.1.2.6.1 Entwicklung des Endenergieverbrauchs im MWMS

Die Entwicklung des Endenergieverbrauchs des Verkehrssektors für das MWMS ist in Tabelle 3-14 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). Ein Trendbruch bei den Pkw (Sinkender Anteil Diesel-Pkw) ist in den Modellierungen nicht berücksichtigt. 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 3-14: 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

Brennstoff	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Summe (national)	2.293	2.243	2.306	2.297	2.178	2.050	1.902
Internat. Flugverkehr	310	328	332	373	402	427	436
Seeschifffahrt	90	104	83	84	87	89	87
Summe Gesamt	2.693	2.675	2.721	2.755	2.667	2.567	2.424

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

3.1.2.6.2 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 CO₂-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.

3.1.2.6.3 Bewertung der Einzelmaßnahmen im MWMS

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 rein rechnerisch Mehremissionen im Verkehrssektor. Wie in Fußnote 50 erläutert, kann die Betrachtung über den gesamten Lebensweg der Biokraftstoffe zu einem anderen Ergebnis führen.

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 zu-

rückzuführen, da die negativen Effekte (Mehremissionen durch geringere Biokraftstoffquote) durch die anderen Maßnahmen etwas kompensiert werden.

Tabelle 3-15: Bewertung der Einzelmaßnahmen im MWMS im Sektor Verkehr, direkte Emissionsminderungen

Direkte Emissionsminderung [Mt CO ₂]	Instrumententyp	Wirkungsbeginn	2020	2025	2030	2035
Weitere Ausweitung Lkw-Maut	E	2019	0,2	0,6	0,6	0,7
Energieeffiziente Nutzfahrzeuge	E	2015	0,6	0,6	0,8	1,0
Stärkung des Schienenverkehrs	E	2017	0,0	0,0	0,1	0,1
Erd- und Flüssiggasförderung	E		NA	NA	NA	NA
Fortschreibung CO ₂ -Standards	R	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 fortschrittliche Biokraftstoffe	R	2015	-0,2	-0,7	-1,2	-2,7
Gesamt			0,7	3,0	11,7	21,1

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

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

Tabelle 3-16: Bewertung der Einzelmaßnahmen im MWMS im Sektor Verkehr, direkte und indirekte Emissionsminderungen

Direkte und indirekte Emissionsminderung [Mt CO ₂]	Instrumententyp	Wirkungsbeginn	2020	2025	2030	2035
Weitere Ausweitung Lkw-Maut	E	2019	0,2	0,6	0,7	0,7
Energieeffiziente Nutzfahrzeuge	E	2015	0,7	0,6	0,8	1,0
Stärkung des Schienenverkehrs	E	2017	0,0	0,0	0,1	0,1
Erd- und Flüssiggasförderung	E		NA	NA	NA	NA
Fortschreibung CO ₂ -Grenzwerte	R	2022	NA	2,2	11,0	18,4
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
Gesamt			1,0	3,0	12,1	18,5

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

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

3.1.2.7 Ergebnisse der Projektion des Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenarios

3.1.2.7.1 Entwicklung des Endenergieverbrauchs im MEMS

Die Entwicklung des Endenergieverbrauchs des Verkehrssektors für das MEMS ist in Tabelle 3-17 dargestellt. Gegenüber 2005 gibt es bezüglich des gesamten Endenergieverbrauchs des nationalen Verkehrs bis zum Jahr 2020 praktisch keine Änderungen. Der starke Rückgang von fossilen Kraftstoffen und eine deutliche Erhöhung des Strombedarfs im Vergleich zum MMS sind die dominierenden Ent-

wicklungen. Bis zum Jahr 2035 wird gegenüber 2005 ein sehr starker Rückgang des Endenergieverbrauchs des nationalen Verkehrssektors um 52 % erreicht. Der Endenergieverbrauch des internationalen Verkehrs verändert sich gegenüber dem Mit-Maßnahmen-Szenario leicht.

Der gegenüber dem Mit-Maßnahmen-Szenario deutlich höhere Anteil elektrischer Fahrzeuge resultiert in einem Stromverbrauch des Verkehrssektors in Höhe von insgesamt 224 PJ im Jahr 2035, wovon 66 PJ auf den Schienenverkehr und 158 PJ auf den batterieelektrischen Verkehr zurückzuführen sind. Gegenüber dem Mit-Maßnahmen-Szenario nimmt der Strombedarf somit um knapp 170 % zu.

Tabelle 3-17: End-energieverbrauch des Verkehrssektors (ohne Sonderverkehre) im MEMS in PJ

Brennstoff	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Benzin	993	792	745	697	532	346	214
Diesel	1.115	1.199	1.340	1.358	1.163	894	571
LPG	2	22	23	14	7	3	1
Erdgas	3	9	7	6	4	2	1
(Bio-) Ethanol	7	31	32	45	37	25	15
Biodiesel	72	91	81	94	85	67	43
Biogas	0	0	0	1	1	1	0
Strom	58	60	42	47	77	155	224
Heizöl	7	6	6	6	6	8	8
Kerosin	34	34	30	29	29	27	23
Summe (national)	2.293	2.243	2.306	2.298	1.941	1.528	1.102
Internat. Flugverkehr	310	328	332	373	402	427	436
Seeschifffahrt	90	104	83	84	87	89	87
Summe Gesamt	2.693	2.675	2.721	2.755	2.430	2.023	1.559

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

3.1.2.7.2 Bewertung der Einzelmaßnahmen im MEMS

Bewertet wurde der zusätzliche Minderungsbeitrag der Einzelmaßnahmen gegenüber dem MWMS. Die Minderungsbeiträge der Einzelmaßnahmen würden gegenüber dem MMS höher ausfallen. Wechselwirkungen zwischen den Einzelmaßnahmen sind berücksichtigt.

Auch im MEMS ist die ambitionierte Fortschreibung der Pkw-Flottengrenzwerte die effektivste Maßnahme. Mit Inkrafttreten im Jahr 2022 steigt der Anteil der Maßnahme an der akkumulierten Minderung auf 55 % im Jahr 2030 an und beträgt dann 19 Mio.t – bzw. 14 Mio. t, wenn man auch die Vorkettenemissionen der Kraftstoffe (Stromerzeugung und Herstellung fossiler Kraftstoffe) berücksichtigt. Diese Minderung ist gegenüber dem MWMS berechnet, d.h. insgesamt ergibt sich gegenüber dem MMS durch die sehr starke CO₂-Reduktion der Neuzulassungen (23 g CO₂ real im Jahr 2030) eine Reduktion von etwa 30 Mio. t CO₂. Es kommt zu einer starken Elektrifizierung des Pkw-Bestandes mit einem Anteil von knapp 28 %, wobei sich die Anzahl von BEV und Plug-In Fahrzeugen recht gleichmäßig verteilt. Auch nach 2030 trägt diese Maßnahme wesentlich zur Elektrifizierung des Pkw-Bestandes und damit zur Emissionsreduktion bei. Der Minderungsbeitrag der Lkw-Standards gegenüber der Referenz geht von einer Effizienzsteigerung von 1,0 % bereits im MMS aus. Wenn die Effizienzsteigerung ohne

Maßnahme nur bei 0,2 % p.a. liegen würde, so würde dies in einem deutlich höheren Minderungsbeitrag durch die Lkw-Standards resultieren

Die straßennetzweite, fahrleistungsbezogene Maut für alle Fahrzeuge (d.h. sowohl Pkw als auch Lkw und Busse) trägt einen weiteren essentiellen Teil der Minderungen im MEMS bei, mit einem Anteil von 30% an der Gesamtminderung in 2030. Die Minderungen teilen sich zu dabei zu rund 20 % auf den Güter- und 80 % auf den Personenverkehr auf. Durch die Anrechnung der externen Kosten ab 2030 steigt der Minderungsbeitrag in den Folgejahren weiterhin deutlich. Auch ist hier die Wirkung des CO₂-Aufschlags in der Energiesteuer beinhaltet, um eine Doppelzählung der CO₂-Kosten zu vermeiden. In der Einzelwirkung hat der CO₂-Aufschlag in der Energiesteuer eine Minderungswirkung von 2,7 Mio. t. in 2030.

Durch das Zusammenspiel von Lkw-Maut und Effizienzsteigerung der Lkw wird auch im Güterverkehr eine Minderung der THG-Emissionen (in moderatem Ausmaß) erreicht. Die Oberleitungs-Lkw haben unter den getroffenen Annahmen im Jahr 2030 einen Anteil von gut 8 % an der Fahrleistung und tragen daher einen relevanten Minderungsbeitrag von knapp 1,7 Mt. ⁵¹ Wichtig ist in diesem Fall das Zusammenspiel der Instrumente, denn durch die Internalisierung externer Kosten in der Lkw-Maut können Oberleitungs-Lkw im MEMS-Szenario auch aus einer TCO-Perspektive gut mit Diesel-Lkw konkurrieren.

Die reine finanzielle Förderung des ÖPNV hat für sich genommen zwar unter den hinterlegten Annahmen und Rahmenbedingungen ein geringes Minderungspotenzial, sie ist allerdings eine notwendige Bedingung um durch kostenseitige Maßnahmen wie z.B. die Pkw-Maut oder die Energiesteuern tatsächlich eine Verlagerung von Verkehr zu erreichen. Ähnliches gilt für die Förderung des Radverkehrs.

Der zunehmende Einsatz von Biokraftstoffen sowie von PtL-Kraftstoffen im Luftverkehr, welcher mit Nullemissionen bewertet wird, trägt im Jahr 2030 gegenüber dem MWMS zu einer zusätzlichen Minderung in Höhe von 1,5 Mio. t bei.

Die Überschneidungseffekte des MEMS stellen sich auch in der Zeitreihe bis 2035 dynamisch dar. Bis zum Jahr 2025 steigen die Überschneidungseffekte auf knapp 10 % und bis zum Jahr 2030 auf 18 % an.

Tabelle 3-18: Bewertung der Einzelmaßnahmen im MEMS im Sektor Verkehr ggü. MMS, direkte Emissionsminderungen

Direkte Emissionsminderung [Mt CO ₂]	Instrumententyp	Wirkungsbeginn	2020	2025	2030	2035
Straßennetzweite, fahrleistungsbezogene Maut für alle Fahrzeuge	E	2021		5,1	11,3	19,4
Oberleitungsinfrastruktur für Lkw	E	2024		0,3	1,7	4,3
ÖPNV Finanzierung	E	2025		0	0,1	0,2
Förderung des Radverkehrs	E	2020		0,3	0,4	0,6
Fortschreibung CO ₂ -Grenzwerte	R	2022		10,5	32,5	53,1
davon Pkw				8,7	30,2	49,1
davon Lkw				1,8	2,3	4,0
Kraftstoffquote Biofuels und	R	2020	0	0,2	0,3	-0,1

⁵¹ Die hierbei vorausgesetzte Marktdurchdringung im Jahr 2030 erscheint nach einer Potentialanalyse im Auftrag des BMVI (Wietschel et al. 2017) unter positiven Rahmenbedingungen auch in der Realität erreichbar.

PtG/PtL, Einpreisung von Mehrkosten						
Tempolimit	R	2021		3,1	2,7	2,3
Gesamt			0	20,1	49,3	80,2

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

Anmerkung: Maßnahmen des MWMS sind hier nicht mit aufgeführt, jedoch enthalten; Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A-5-1 im Anhang

Tabelle 3-19: Bewertung der Einzelmaßnahmen im MEMS im Sektor Verkehr ggü. MMS, direkte und indirekte Emissionsminderungen

Direkte und indirekte Emissionsminderung [Mt CO ₂]	Instrumententyp	Wirkungsbeginn	2020	2025	2030	2035
Straßennetzweite, fahrleistungsbezogene Maut	E	2021		4,5	10,6	18,3
Oberleitungsinfrastruktur für Lkw	E	2024		0,1	0,8	2,8
ÖPNV Finanzierung	E	2025		0	0,1	0,1
Förderung des Radverkehrs	E	2020		0,3	0,5	0,6
Fortschreibung CO ₂ -Grenzwerte	R	2022		9	27,4	45,2
davon Pkw				6,8	24,6	41,4
davon Lkw				1,8	2,8	3,2
Kraftstoffquote Biofuels und PtG/PtL, Einpreisung von Mehrkosten	R	2020	0,2	0,7	0,7	0,4
Tempolimit	R	2021		3,6	3	2,9
Gesamt			0,2	18,2	43,1	70,3

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

Anmerkung: Maßnahmen des MWMS sind hier nicht mit aufgeführt, jedoch enthalten; Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A-5-1 im Anhang

3.1.2.8 Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Vergleich der Szenarien

Tabelle 3-20 zeigt die Entwicklung der THG-Emissionen der nationalen Verkehre. Im MMS-Szenario bleiben die THG-Emissionen bis zum Jahr 2030 mit rd. 150 Mt auf hohem Niveau. Durch die Maßnahmen des MWMS können die THG-Emissionen um x Mio. t. reduziert werden. Im MEMS wird das Ziel des Klimaschutzplans für das Jahr 2030 (nahezu) erreicht. Zum Zeitpunkt der Erstellung der Projektion wurde für die Verkehrsnachfrageentwicklung die VP 2030 zu Grunde gelegt. Mittlerweile absehbare aktuelle Trends (v.a. Fahrleistungsanstiege) wurden in der Projektion noch nicht berücksichtigt, so dass die für 2020 prognostizierten THG-Emissionen niedriger ausfallen als dies unter Berücksichtigung aktueller Trends der Fall wäre.

Tabelle 3-20: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Verkehrssektor zwischen 1990 und 2035 im Vergleich der Szenarien – nur nationale Verkehre

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
CO ₂ -Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2014	161,9	160,0	152,8	159,5				

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
MMS					157,4	151,1	148,4	147,3
MWMS					156,8	148,1	137,5	126,3
MEMS					156,6	129,7	98,4	65,4
CH ₄ -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
MEMS					0,2	0,1	0,1	0,1
N ₂ O-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2014	1,4	1,4	1,6	1,8				
MMS					1,9	1,9	1,9	1,8
MWMS					1,9	1,8	1,8	1,7
MEMS					1,9	1,7	1,4	1,0
Summe CO₂+CH₄+N₂O								
Entwicklung 1990 – 2014	164,6	161,7	154,5	161,4				
MMS					159,4	153,1	150,4	149,3
MWMS					158,8	150,1	139,4	128,1
MEMS					158,6	131,5	99,9	66,5
Summe CO ₂ +CH ₄ +N ₂ O	Veränderung ab 1990 in %							
Entwicklung 1990 – 2014		-1,8	-6,1	-1,9				
MMS					-3,1	-7,0	-8,6	-9,3
MWMS					-3,5	-8,8	-15,3	-22,2
MEMS					-3,6	-20,1	-39,3	-59,6
Summe CO ₂ +CH ₄ +N ₂ O	Veränderung ab 2005 in %							
Entwicklung 2005 – 2014			-4,4	-0,2				
MMS					-1,4	-5,3	-7,0	-7,7
MWMS					-1,8	-7,2	-13,8	-20,8
MEMS					-1,9	-18,7	-38,2	-58,9

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

Tabelle 3-21 zeigt die Emissionsentwicklungen für CO₂, CH₄ und N₂O im Verkehr (einschließlich internationalem Luft- und Seeverkehr sowie Erdgaspipelineverdichtern als Sonderverkehr) von 1990 bis 2035 sowie die seit 1990 bzw. 2005 erzielten Minderungen im Überblick. Bis zum Jahr 2035 sinken die gesamten THG-Emissionen im MMS auf ca. 188 Mt CO₂e, im MWMS sinken sie um über 21 Mt CO₂e mehr auf ca. 167 Mt CO₂e. Das MEMS erreicht mit einer Minderung um 88 Mt CO₂e gegenüber dem MMS Emissionen von knapp 101 Mt CO₂e im Jahr 2035. Dies entspricht im MMS einer Steigerung von fast 3 % gegenüber 1990, im MWMS einer Reduktion von fast 9 % und im MEMS von 45 %. Gegenüber

dem Jahr 2005 entspricht dies einer Reduktion von ca. 2 %, 13 % und 47,5 %. Das Emissionsniveau des Jahres 2014 wird in den Szenarien im Jahr 2020 zunächst übertroffen; danach sinken die Emissionen jedoch im MMS leicht, im MWMS deutlich und im MEMS sehr stark. 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 MEMS nehmen die prozentualen Minderungen innerhalb der Fünfjahresschritte von 13% bis 27% deutlich zu. Im Jahr 2020 liegen die Emissionen bei 193 bis 194 Mt CO₂, 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 wurden zwischen 1990 und 2035 über 90 % der Emissionen reduziert, dies wurde aber schon in den Jahren bis 2010 erreicht. Bei CO₂ gibt es im MMS eine Steigerung der Emissionen im Jahr 2035 gegenüber 1990, im MWMS eine Reduktion um 9 % und im MEMS um 45 % und damit sehr ähnlich den gesamten THG-Minderungen. Die Lachgasemissionen steigen bis 2035 im MMS und im MWMS im Vergleich zu 1990 an, wobei es ab 2014 nahezu zu einer Stagnation kommt. Im MEMS gibt es eine deutliche Minderung gegenüber 1990 und vor allem gegenüber den anderen beiden Szenarien. CO₂ ist und bleibt jedoch das mit Abstand dominierende Gas mit 99 % an den gesamten Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors im Jahr 1990 wie auch 2035.

Tabelle 3-21: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Verkehrssektor zwischen 1990 und 2035 im Vergleich der Szenarien einschließlich internationalem Luft- und Seeverkehr

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
CO₂-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
MEMS					190,7	166,1	135,3	99,5
CH₄-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
MEMS					0,2	0,1	0,1	0,1
N₂O-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2014	1,4	1,4	1,6	1,8				
MMS					1,9	1,9	1,9	1,8
MWMS					1,9	1,8	1,8	1,7
MEMS					1,9	1,7	1,4	1,0
Summe CO₂+CH₄+N₂O								
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

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
MEMS					192,7	167,9	136,8	100,5
Summe CO ₂ +CH ₄ +N ₂ O	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
MEMS					5,3	-8,3	-25,3	-45,1
Summe CO ₂ +CH ₄ +N ₂ O	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
MEMS					0,6	-12,4	-28,6	-47,5

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

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

3.1.2.9 Entwicklung der Verkehrsleistungen im Vergleich der Szenarien

Wie in Kapitel 2.5.1.1 beschrieben ergeben sich durch die hinterlegten Maßnahmen Änderungen in der Verkehrsnachfrage. Zum Beispiel durch Änderungen der Nutzerkosten oder der Fahrzeiten. Für den Personenverkehr ergeben sich im MWMS nur marginale Änderungen. Im MEMS ergeben sich dagegen deutliche Unterschiede schon ab 2025. Im Jahr 2030 ist die Nachfrage im MIV um 15 % niedriger als die Nachfrage im MMS. Die Verkehrsleistung im öffentlichen Verkehr steigt dabei um 50 %. Absolut ergibt sich eine leichte Abnahme der Verkehrsnachfrage im Personenverkehr um 3 % im Vergleich von MEMS und MMS. Die Entwicklungen inklusive der Jahre 2025 und 2035 sind in Tabelle 3-22 dargestellt.

Tabelle 3-22: Veränderung der Verkehrsleistung im Personenverkehr im Vergleich zum MMS

	MIV	ÖV	Summe
2025			
MWMS	100%	101%	100%
MEMS	92%	127%	97%
2030			
MWMS	100%	101%	100%
MEMS	85%	150%	95%
2035			
MWMS	100%	101%	100%
MEMS	77%	177%	92%

Quelle: VP 2030, eigene Berechnungen

Bei dem Güterverkehr ergeben sich bereits im MWMS kleine Verlagerungseffekte mit einer minimalen Gesamtminderung der Verkehrsnachfrage um 1 % gegenüber dem MMS. Die Entwicklung im MEMS zeigt sich jedoch weniger stark dynamisch als im Personenverkehr. Im Jahr 2030 ist die Nachfrage im Straßengüterverkehr um 4 % niedriger als die Nachfrage im MMS. Die Verkehrsleistung Schienengüterverkehrs steigt dabei um 10 % die der Binnenschifffahrt um 9 %. Absolut ergibt sich nur eine sehr leichte Abnahme der Verkehrsnachfrage im Güterverkehr um 1 % im Vergleich von MEMS und MMS. Die Entwicklungen inklusive der Jahre 2025 und 2035 sind in Tabelle 3-23 dargestellt.

Tabelle 3-23: Veränderung der Verkehrsleistung im Güterverkehr im Vergleich zum MMS

	Straßengüterverkehr	Schienengüterverkehr	Binnenschiff	Luftfracht	Summe
2025					
MWMS	98%	103%	102%	100%	99%
MEMS	100%	104%	102%	100%	101%
2030					
MWMS	98%	103%	102%	100%	99%
MEMS	96%	110%	109%	100%	99%
2035					
MWMS	98%	103%	102%	100%	99%
MEMS	93%	114%	112%	100%	98%

Quelle: VP 2030, eigene Berechnungen

3.1.3 Gebäudebereich – Wärme- und Kältebereitstellung

3.1.3.1 Methodik

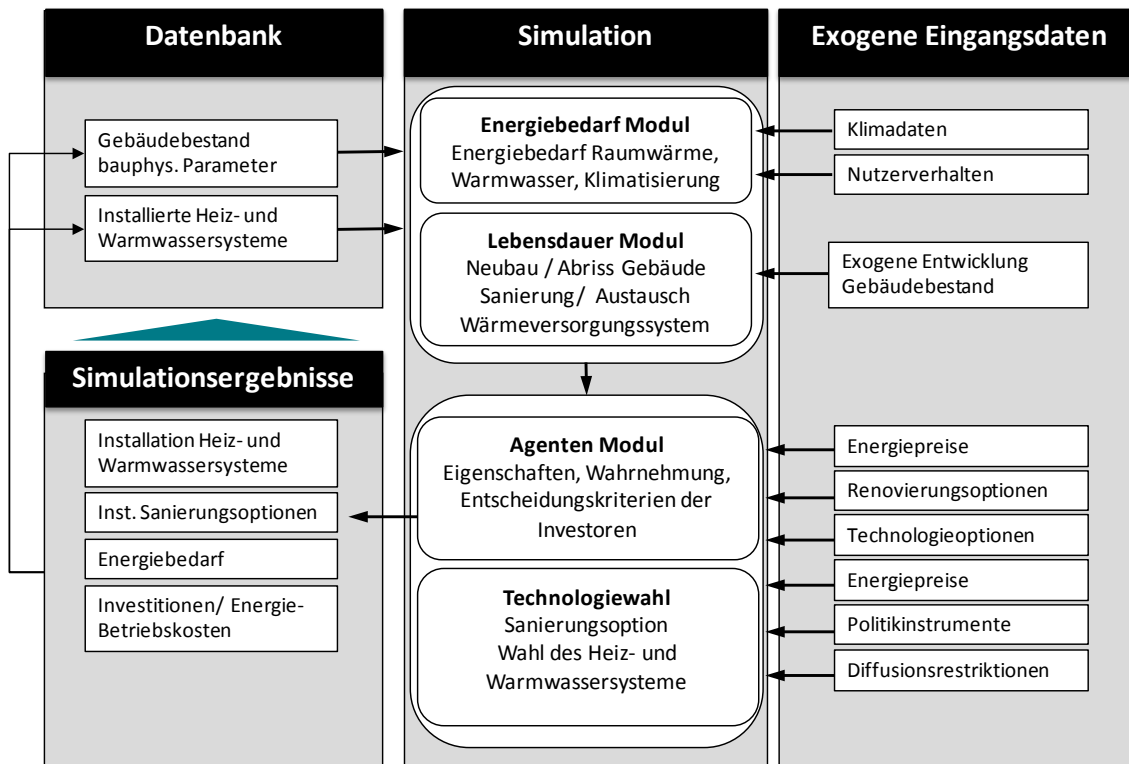
Für die Berechnung der Szenarien und die Wirkungsabschätzung der Einzelinstrumente werden unterschiedliche Methoden angewendet. Zur Ermittlung der Wärmebedarfsentwicklung und der eingesetzten Technologien bis zum Jahr 2035 wird das Simulationsmodell Invert/EE-Lab eingesetzt. Daneben wird die Wirkung 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.

Methodisch stellt Invert/EE-Lab ein dem Bottom-up-Ansatz folgendes, technoökonomisches Simulationsmodell dar, mit dem Optionen des Energiebedarfs und dessen Deckung für Wärme (Raumwärme und Warmwasser) sowie Klimatisierung von Wohn- und Nichtwohngebäuden ermittelt und die Auswirkungen verschiedener Förderinstrumente in Jahresschritten abgebildet werden können (Abbildung 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 Hemmnissen 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:

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

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

Abschätzung der Einzelinstrumentenwirkungen über Instrumentenindikatoren

Die Abschätzung der Wirkung einzelner Politikinstrumente (Bewertung der Einzelmaßnahmen) erfolgt nicht über das Modell Invert/EE-Lab sondern 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.⁵²

- ▶ 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.

⁵² 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.

- ▶ Die Wirkung des nationalen Effizienzlabels für Heizungsanlagen 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).
- ▶ Die Wirkung der KfW-Programme für die energetische Gebäudesanierung hat eine Schnittmenge mit den Anforderungen der EnEV für den Gebäudebestand. Auf Ebene der EnEV wird deswegen für Sanierungsmaßnahmen ein Instrumentenfaktor von 0,8 angesetzt.

Dennoch führt die Summe der abgeschätzten Einzelinstrumentenwirkungen tendenziell zu einer deutlich höheren Wirkung als bei der Modellierung mit Invert/EE-Lab. 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 diskutieren mögliche Ursachen, 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 der 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.
- 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 Förderung 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 abzubilden, 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 Indi-

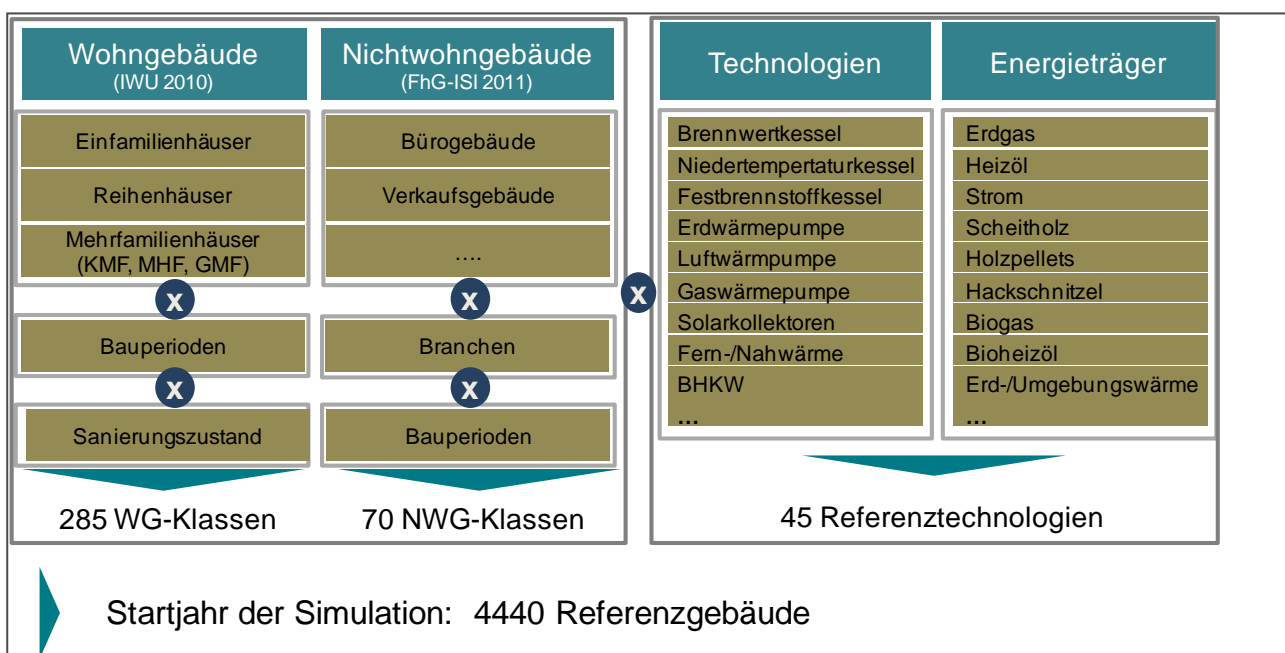
katoren an geänderte energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen fehlt die empirische Basis. In der modellbasierten Szenarienberechnung können steigende Energiepreise hingegen dazu führen, dass sich bereits in der Referenzentwicklung, also auch ohne zusätzliche Förderung, eine höhere Diffusion von Energieeffizienzmaßnahmen 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 Mitnahmeeffekten: Mangels einer empirischen Basis werden mögliche Mitnahmeeffekte in einer ex-post Evaluierung von Politikinstrumenten in der Regel nicht berücksichtigt. Die Wirkung eines Einzelinstruments 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



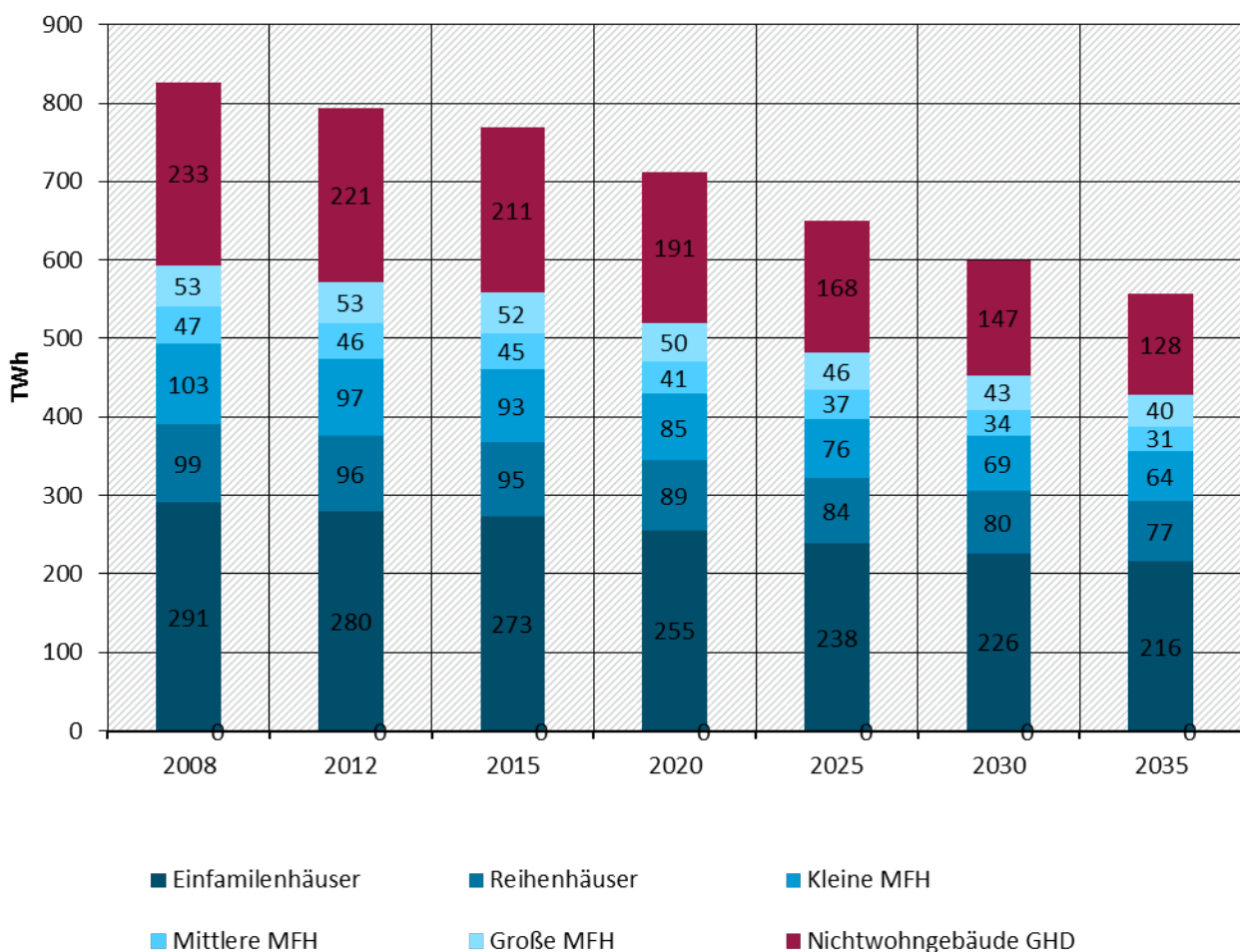
Quelle: (Steinbach 2015)

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

3.1.3.3 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.

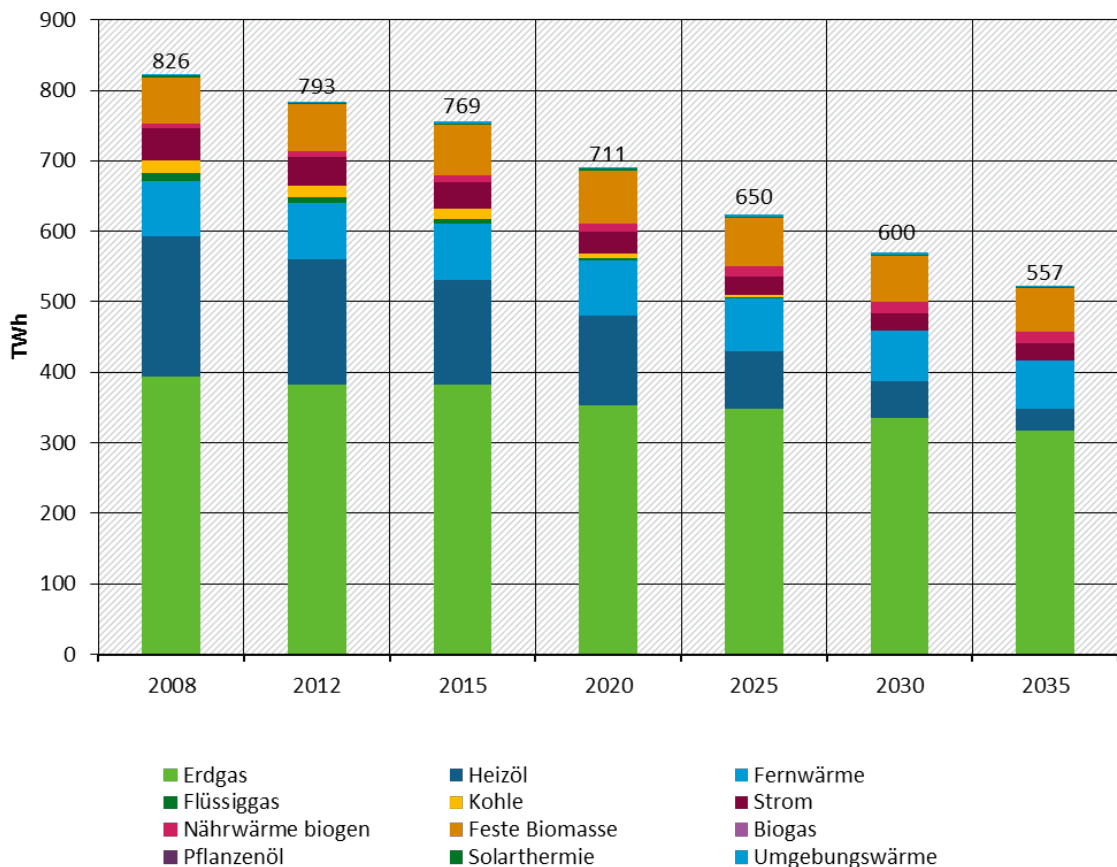
Abbildung 3-4: Endenergiebedarfsentwicklung der Wärmebereitstellung nach Gebäudekategorien im MMS



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, Nachtspeicheröfen) 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 Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien (MAP), die neuen Instrumente zur Steigerung der Energieeffizienz von Heizsystemen (Anreizprogramm Energieeffizienz, Förderprogramm Heizungsoptimierung und Nationales Effizienzlabel für Heizungsaltanlagen) sowie die Energieeinsparverordnung (EnEV).

Die Beschreibung, welche Annahmen zur Ausgestaltung der Einzelmaßnahmen zu Grunde liegen, findet sich in Kapitel 2.7.2.1. Die Abschätzung der Wirkung der Einzelmaßnahmen des MMS erfolgt gegenüber einem Ohne-Maßnahmen-Szenarien (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 Einsparun-

gen 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 3-24 zeigt ein Übersicht der untersuchten Einzelmaßnahmen die entspreche Referenz im Vergleichsszenario (OMS).

Tabelle 3-24: Ausgestaltung des Vergleichsszenarios (OMS) zur Quantifizierung der Einzelmaßnahmenwirkung

Einzelmaßnahme	Ausgestaltung Vergleichsszenario (<i>Ohne-Maßnahme-Szenario</i>)
KfW-Programme für energieeffizientes Bauen und Sanieren	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 Sanierungen wird angenommen, dass die im Rahmen des MMS durch die KfW-Programme induzierten Sanierungsmaßnahmen ausbleiben.
Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien	Im Vergleichsszenario werden die entsprechenden Förderungen für EE-Wärmeerzeuger abgestellt. Es wird angenommen, dass die im Rahmen des MMS durch das MAP induzierten Investitionen in EE-Wärmeanlagen ausbleiben.
Anreizprogramm Energieeffizienz, Förderprogramm Heizungsoptimierung und Nationales Effizienzlabel für Heizungsanlagen	Im Vergleichsszenario bleiben die infolge der Programme induzierten Maßnahmen (v.a. Austausch Heizkessel oder Heizungspumpe, hydraulischer Abgleich) aus.
Energieeinsparverordnung	Neubau: „Einfrieren“ der Mindestanforderungen an neue Gebäude auf das Niveau der EnEV 2014 Gebäudebestand: „Ausschalten“ der bedingten Sanierungspflicht; dabei wird angenommen, dass in rund der Hälfte aller Sanierungsfälle dennoch eine EnEV-konforme energetische Modernisierung stattfindet; hinsichtlich der Nachrüstverpflichtung für Heizkessel wird angenommen, dass Kessel, die älter als 30 Jahre sind, nur halb so oft ausgetauscht werden wie unter den Anforderungen der EnEV.

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 3-25 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 3-26 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 3-25: Einsparungen fossiler Brennstoffe

Fossile Brennstoffeinsparungen pro Jahr [PJ]*	Instrumententyp	Wirkungsbeginn	2016	2020	2025	2030	2035
KfW-Programme für energieeffizientes Bauen und Sanieren	E	2016	9	45	90	135	180
Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien	E	2016	9	46	92	138	184
Anreizprogramm Energieeffizienz, Förderprogramm Heizungsoptimierung und Nationales Effizienzlabel für Heizungsanlagen	E/I	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 und Strom
 Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A-5-1 im Anhang

Quelle: Berechnung Öko-Institut

Tabelle 3-26: Direkte Minderungen an Treibhausgasemissionen

Direkte Emissionsminderung* [Mt CO ₂ e]	Instrumententyp	Wirkungsbeginn	2015	2020	2025	2030	2035
KfW-Programme für energieeffizientes Bauen und Sanieren	E	2016	0,6	2,9	5,8	8,7	11,6
Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien	E	2016	0,8	3,9	7,7	11,6	15,5
Anreizprogramm Energieeffizienz, Förderprogramm Heizungsoptimierung und Nationales Effizienzlabel für Heizungsanlagen	E/I	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 und Strom
 Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A-5-1 im Anhang

Quelle: Berechnung Öko-Institut

Tabelle 3-27 zeigt die Auswirkungen der Einzelmaßnahmen auf die Stromnachfrage des Gebäudesektors. Bei der Stromnachfrage kommt es zu einer Überlagerung von zwei gegenläufigen Effekten: Die meisten Einzelmaßnahmen bewirken Effizienzsteigerungen im Heizsystem, die in der Regel auch zu Einsparungen beim Hilfsstrombedarf führen (z.B. infolge des Austauschs ineffizienter Heizungspumpen). Hinzu kommt der Austausch elektrischer Widerstands- oder Direktheizungen, was ebenfalls zu einem Rückgang des sektoralen Strombedarfs führt. Gegenläufig dazu verhält sich der durch einige der

Maßnahmen induzierte Zubau elektrischer Wärmepumpen, der zu einer Zunahme der Stromnachfrage des Gebäudesektors führt.

Tabelle 3-27: Auswirkung auf Stromnachfrage

Stromeinsparung [TWh]	Instrumententyp	Wirkungsbeginn	2015	2020	2025	2030	2035
KfW-Programme für energieeffizientes Bauen und Sanieren	E	2016	-0,4	-2,0	-4,0	-5,9	-7,9
Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien	E	2016	-0,1	-0,5	-0,9	-1,4	-1,9
Anreizprogramm Energieeffizienz, Förderprogramm Heizungsoptimierung und Nationales Effizienzlabel für Heizungsanlagen	E/I	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

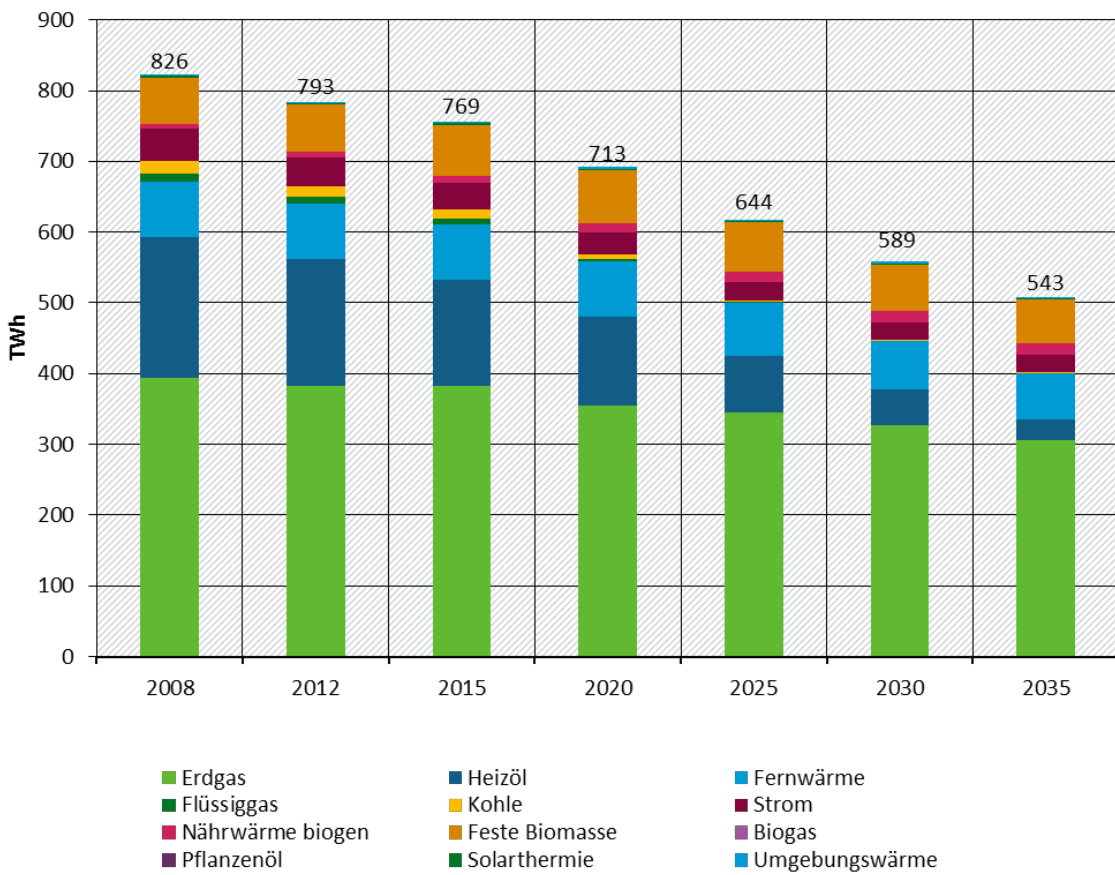
Anmerkung: Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A-5-1 im Anhang

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 Endenergie-rückgang 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 2.6.2). Tabelle 3-28 zeigt die für die Einzelbewertung wichtigsten Ausgestaltungselemente und Annahmen der untersuchten Instrumente.

Tabelle 3-28: 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
KfW-Programme für energieeffizientes Bauen und Sanieren	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 niedrigerer Zahlungsbereitschaft erreicht werden müssen. Energieeffizientes Bauen: ab 2021 Halbierung der Förderfälle, da mit Einführung des Niedrigstenergiegebäudestandards der Großteil der heute von der Förderung erfassten Neubauten nicht mehr förderfähig ist.
Marktanreizprogramm für	Ab 2021 Erhöhung der Förderfälle um rund 35 %; Abschätzung der Wirkung unter Zugrundelegung der Fördereffizienz aus den vergangenen Jahren, allerdings etwas

Einzelmaßnahme	Ausgestaltung Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios (MWMS) sowie Annahmen für die Wirkungsabschätzung
erneuerbare Energien	reduziert, um Zielgruppen mit niedrigerer Zahlungsbereitschaft ausreichend zu berücksichtigen.
Anreizprogramm Energieeffizienz, Förderprogramm Heizungsoptimierung und Nationales Effizienzlabel für Heizungsanlagen	Anreizprogramm Energieeffizienz und Heizungsanlagenlabel: Ausgestaltung analog MMS Förderprogramm Heizungsoptimierung: Beim Programmelement „hydraulischer Abgleich“ wird bis 2035 eine Fortführung mit rund 200.000 geförderten Maßnahmen pro Jahr unterstellt.
Energieeinsparverordnung	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.
Energieeffizienzverpflichtungssystem	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 3-29 und Tabelle 3-30 zeigen die zusätzlichen Einsparungen fossiler Brennstoffe sowie Treibhausgasemissionen gegenüber dem MMS. Die Wirkungen, die aus Änderungen der Strom- und Fernwärmenachfrage 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 Marktanzreizprogramm 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 3-29: Zusätzliche Einsparungen fossiler Brennstoffe pro Jahr durch Änderungen der Instrumentenausgestaltung im MWMS (ohne Wirkungen auf Umwandlungssektor)

Fossile Brennstoffeinsparungen pro Jahr [PJ]*	Instrumententyp	Wirkungsbeginn	2016	2020	2025	2030	2035
KfW-Programme für energieeffizientes Bauen und Sanieren	E	2016	0	0	8	16	25
Marktanzreizprogramm für erneuerbare Energien	E	2016	0	0	15	31	46

Anreizprogramm Energieeffizienz, Förderprogramm Heizungsoptimierung und Nationales Effizienzlabel für Heizungsanlagen	E/I	2016	0	0	3	6	6
Energieeinsparverordnung (EnEV)	R	2016	0	0	0	0	5
Energieeffizienzverpflichtungssystem	R	2021	0	0	8	18	27

Anmerkung: * Nur fossile Brennstoffe in der dezentralen Wärmeerzeugung ohne Fernwärme und Strom
 Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A-5-1 im Anhang

Quelle: Berechnung Öko-Institut

Tabelle 3-30: Zusätzliche Emissionsminderung durch Einsparung fossiler Brennstoffe pro Jahr im MWMS

Direkte Emissionsminderung [Mt CO ₂]*	Instrumententyp	Wirkungsbeginn	2016	2020	2025	2030	2035
KfW-Programme für energieeffizientes Bauen und Sanieren	E	2016	0,0	0,0	0,5	1,1	1,6
Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien	E	2016	0,0	0,0	1,3	2,6	3,9
Anreizprogramm Energieeffizienz, Förderprogramm Heizungsoptimierung und Nationales Effizienzlabel für Heizungsanlagen	E/I	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	R	2021	0,0	0,0	0,5	1,2	1,8

Anmerkung: * Nur fossile Brennstoffe in der dezentralen Wärmeerzeugung ohne Fernwärme und Strom
 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 3-31). 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.

dert 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 3-31: Zusätzliche Einsparungen bei der sektoralen Stromnachfrage durch Änderungen der Instrumentenausgestaltung im MWMS (ohne Wirkungen auf Umwandlungssektor)

Fossile Brennstoffeinsparungen pro Jahr [PJ]*	Instrumententyp	Wirkungsbeginn	2016	2020	2025	2030	2035
KfW-Programme für energieeffizientes Bauen und Sanieren	E	2016	0,0	0,0	0,4	0,7	1,1
Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien	E	2016	0,0	0,0	-0,2	-0,3	-0,5
Anreizprogramm Energieeffizienz, Förderprogramm Heizungsoptimierung und Nationales Effizienzlabel für Heizungsanlagen	E/I	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	R	2021	0,0	0,0	-0,1	-0,3	-0,4

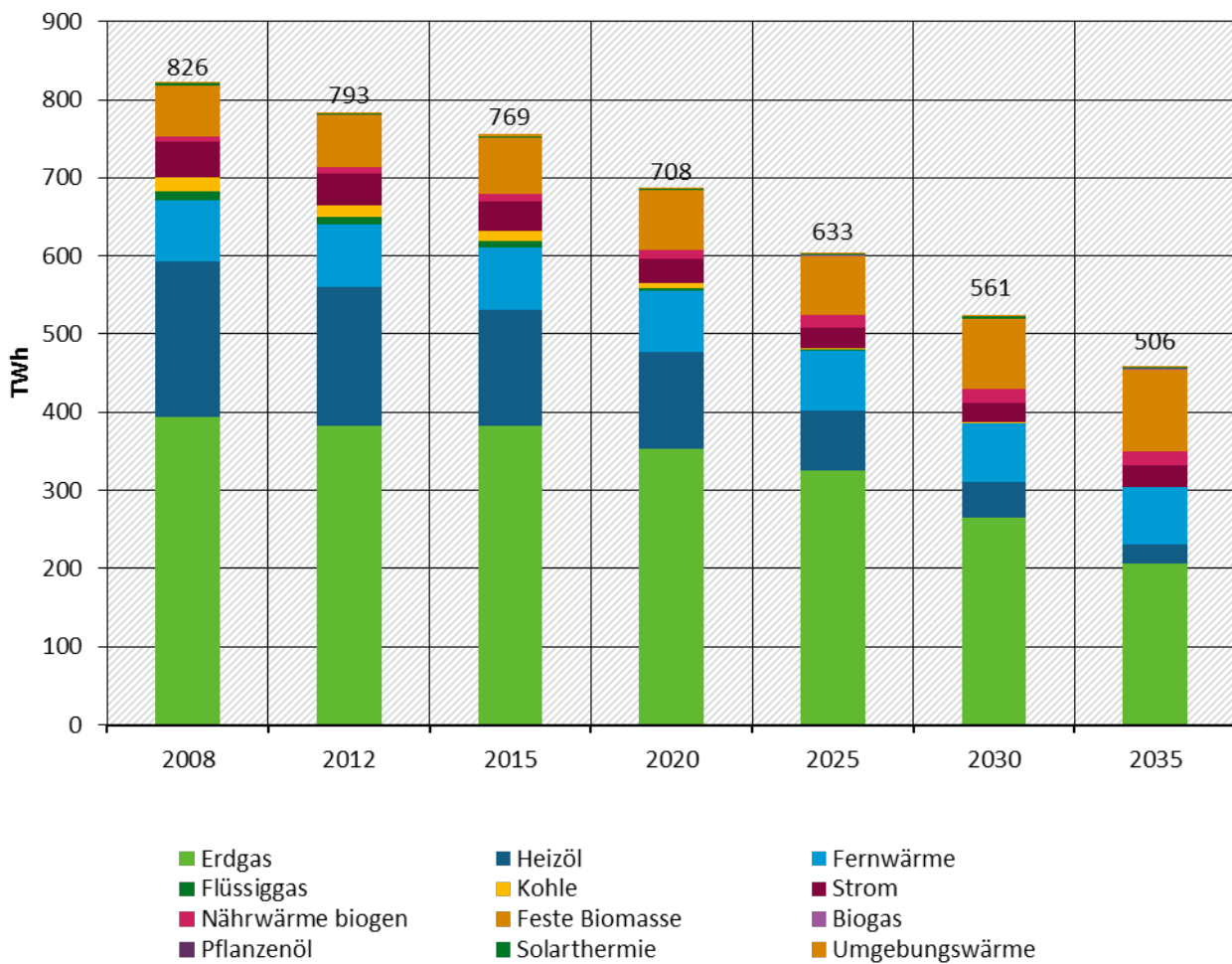
Anmerkung: Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A-5-1 im Anhang

Quelle: Berechnung Öko-Institut

3.1.3.5 Ergebnisse der Projektion des Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenarios

Abbildung 3-7 zeigt die Entwicklung des Endenergiebedarfs für die Wärmebereitstellung im MEMS. 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 263 TWh, was einem Rückgang von 34 % entspricht. Gegenüber dem MMS entspricht dies einem zusätzlichen Endenergie-rückgang pro Jahr im Jahr 2035 von 51,1 TWh. Der Anteil EE-Wärme (ohne Fernwärme) steigt auf 34,4 %, was ebenfalls einen signifikanten Anstieg im Vergleich zum MMS (21%) darstellt.

Abbildung 3-7: Endenergieentwicklung nach Energieträger im MEMS (ohne KWK-Maßnahme)



Quelle: Berechnung Fraunhofer ISI

Bewertung der Einzelmaßnahmen

Für die Bewertung der Einzelmaßnahmen im Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (MEMS) wird die Wirkung einer Reihe der für das MEMS betrachteten Einzelmaßnahmen mit der Wirkung des Instrumentendesigns im MMS verglichen. Neben den (zum Teil weiterentwickelten) Instrumenten des MMS wird im MEMS eine Reihe zusätzlicher Maßnahmen betrachtet (siehe Kapitel 2.7.2.3). Tabelle 3-32 zeigt die wichtigsten Ausgestaltungselemente und Annahmen einer Reihe von weiterentwickelten bzw. zusätzlichen Instrumente. Instrumente, die unverändert aus dem MMS übernommen werden (z.B. MAP, Anreizprogramm Energieeffizienz, Förderprogramm Heizungsoptimierung und Nationales Effizienzlabel für Heizungsaltanlagen, Energieeinsparverpflichtung), werden hier nicht noch einmal explizit beschrieben (vgl. die zugehörigen Beschreibungen hierzu in Tabelle 3-28).

Tabelle 3-32: Ausgestaltung des Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenarios (MEMS) sowie zentrale Annahmen für die Wirkungsabschätzung

Einzelmaßnahme	Ausgestaltung Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (MEMS) sowie Annahmen für die Wirkungsabschätzung
Energieeinsparverordnung	Neubaustandard: wie MWMS Gebäudebestand: ab 2019 Verschärfung der bedingten Sanierungsanforderungen im Vergleich zur EnEV 2014 um 25%; ferner (über die Regelungen der EnEV 2014 hinausgehende) ab 2020 verpflichtende Außerbetriebnahme aller Heizkessel, die älter als 25 Jahre alt sind (Ausnahmetatbestände in EZFH bleiben bestehen) sowie Nachrüstver-

Einzelmaßnahme	Ausgestaltung Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (MEMS) sowie Annahmen für die Wirkungsabschätzung
KfW-Programme für energieeffizientes Bauen und Sanieren	<p>pflichtung elektronischer Messtechnik bei großen NWG.</p> <p>Wirkungsabschätzung in Anlehnung an Methodik in MMS und MWMS Energieeffizientes Sanieren: gleiche Förderzahlen wie im MWMS; gleichzeitig Annahme, dass sich ab 2021 der KfW-70 Standard als Leitstandard etabliert und somit alle Sanierungen auf diesen Standard erfolgen. Energieeffizientes Bauen: wie MWMS</p>
Gebäude-Klimaabgabe	<p>Keine eigenständige, isolierte Wirkungsabschätzung der Einzelmaßnahme möglich sondern Modellierung im Gesamtszenario.</p> <p><i>Die Gebäude-Klimaabgabe wirkt über zwei verschiedene Hebel: Die Einführung der Abgabe soll einerseits Gebäudeeigentümer dazu bringen, Sanierungsanlässe vermehrt zu nutzen, gleichzeitig energetische Sanierungsmaßnahmen durchzuführen; andererseits dient die Abgabe zur Gegenfinanzierung der finanziellen Förderprogramme. Während die Wirkung des letzteren Effekts (Gegenfinanzierung der Förderprogramme) vollständig in der Wirkungsabschätzung der Förderprogramme aufgeht, fehlt es für erstere Wirkung an einer Einschätzung der Elastizität der Abgabe (ab welcher Höhe führt die Abgabe in welchem Ausmaß zu erhöhten Sanierungsaktivitäten und in welchem Ausmaß beeinflusst der über die Zeit steigende Zielzustand die dabei erreichte Sanierungstiefe?). Die Klimaabgabe wird in der Szenarienberechnung im Politikbündel mit berücksichtigt. Dabei wird eine Erhöhung der Sanierungsrate angenommen, auf die allerdings mehrere Instrumente wirken</i></p>
Steuerliche Abschreibung von Sanierungsmaßnahmen	<p>Ab 2020 zusätzlicher Förderimpuls durch die Einführung der steuerlichen Abschreibung; Wirkungsabschätzung in Anlehnung an die Fördereffizienz der KfW-Förderung im Bereich der Gebäudesanierung; für die Wirkungsabschätzung wird ein Förderäquivalent in Form von Steuermindereinnahmen in Höhe von 1 Mrd. Euro pro Jahr zu Grunde gelegt; eine „Kannibalisierung“ der KfW-Förderprogramme findet nicht statt, d.h. alle abgeleiteten Förderfälle werden als „zusätzlich“ eingestuft.</p>
EE-Nutzungspflicht im Gebäudebestand	<p>Ab 2020 Ausweitung der Nutzungspflicht des EEWärmeG auf bestehende Gebäude (Wohn- und Nichtwohngebäude); Pflichtauslöser ist der Austausch der Heizanlage; Pflichtanteil wie im Neubau; eigene Annahmen zum Erfüllungsmix (Solarthermie 20%, Biomasse fest 5%⁵³, Biogas/Bioölbeimischung 25%, Wärmepumpen 10%, Wärmeschutz 20%, keine Wirkung 30%); Abschätzung der Einsparung gegenüber einer Entwicklung ohne Nutzungspflicht.</p>
Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien	<p>wie MWMS</p>
Anreizprogramm Energieeffizienz, Förderprogramm Heizungsoptimierung und Nationales Effizienzlabel für Heizungsanlagen	<p>wie MWMS</p>
Förderprogramm NT-Wärmenetze	<p>Das Förderprogramm adressiert sowohl den Umbau bestehender Wärmenetze als auch den Bau neuer Netze, die mit dem ersteren Fall verbundenen Einsparungen werden im Umwandlungssektor bilanziert; für den letzteren Fall (Bau neuer Netze) werden die Einsparungen gegen einen Wärmeerzeugungsmix aus konventionellen fossilen Wärmeerzeugern abgeschätzt; es wird angenommen, das pro Jahr durchschnittlich 30 NT-Wärmenetze unterschiedlicher Größe gefördert werden.</p>

⁵³ Bei einer Ausweitung der Wärmeerzeugung auf Basis fester Biomasse (z.B. Pellets, Scheitholz, Hackschnitzel) müssen begleitende Instrumente umgesetzt werden, die auf die Minderung von Luftschadstoffen und anderer Emissionen abzielen, z.B. eine Fortschreibung der Emissionsgrenzwerte für Kleinfeuerungsanlagen.

Einzelmaßnahme	Ausgestaltung Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (MEMS) sowie Annahmen für die Wirkungsabschätzung
Energieeffizienzverpflichtungssystem	wie MWMS
CO₂-Aufschlag Energiesteuer	Der CO ₂ -Aufschlag entfaltet seine Wirkung über die Erhöhung der Endkundenpreise der betroffenen fossilen Endenergieträger. Für die Wirkung auf die Nachfrage nach den betroffenen Energieträgern sind die energieträgerspezifischen Nachfrageelastizitäten in den verschiedenen Sektoren (hier Gebäudesektor) maßgeblich. Um die Wirkung der erhöhten fossilen Brennstoffpreise in Zusammenspiel mit den anderen Maßnahmen abbilden zu können wird ein separates Szenario mit dem Modell Invert/ee-lab gerechnet, in dem alle Maßnahmen des MEMS abgebildet werden mit Ausnahme des CO ₂ -Aufschlags. Aus der Differenz der beiden Szenarien wird die Wirkung der Maßnahme ermittelt.

Quelle: Öko-Institut

Nachfolgende Tabellen zeigen die zusätzliche Wirkung der betrachteten Instrumente im MEMS gegenüber dem MMS. Die zusätzliche Wirkung wird durch Differenzbildung zwischen MEMS und MMS ermittelt. Bei den Maßnahmen, die schon im MMS umgesetzt sind, allerdings im Rahmen des MEMS weiterentwickelt werden (z.B. die Förderprogramme der KfW oder die ordnungsrechtlichen Anforderungen aus der EnEV) erfolgt eine direkte Differenzbildung der entsprechenden Wirkungen in den beiden Szenarien. Das MEMS umfasst ferner eine Reihe von komplett neuen Maßnahmen. Für diese Maßnahmen wird die Wirkung gegenüber dem OMS dargestellt.

Tabelle 3-33 und Tabelle 3-34 zeigen zunächst die zusätzlichen Einsparungen fossiler Brennstoffe sowie Treibhausgasemissionen gegenüber dem MMS. Die Wirkungen, die aus Änderungen der Strom- und Fernwärmefachfrage resultieren, sind hier nicht enthalten. Diese werden im Umwandlungssektor bilanziert. Wie beim MMS und MWMS sind die ausgewiesenen Wirkungen bereits um Überlagerungseffekte korrigiert. Mit der Bereinigung wird der Tatsache Rechnung getragen, dass eine Investition in eine Effizienz- oder EE-Maßnahme in der Regel dadurch bewirkt wird, dass mehrere Instrumente gleichzeitig wirken.

Bei der Einsparung an fossilen Brennstoffen sowie den damit einhergehenden Treibhausgasemissionen ist die steuerliche Abschreibung energetischer Sanierungsmaßnahmen (in der oben beschriebenen Ausgestaltung) die wirkungsmächtigste der quantifizierbaren Maßnahmen, gefolgt von der Ausweitung der Nutzungspflicht für EE-Wärmeerzeuger für bestehende Gebäude sowie der CO₂-Abgabe, dessen Wirkung in gleicher Größenordnung liegt. Im Rahmen der Wirkungsabschätzung wird unterstellt, dass mit der steuerlichen Förderung zusätzliche Akteure für eine Energieeffizienzinvestition gewonnen werden und dabei eine Fördereffizienz erreicht wird, die mit der Fördereffizienz der KfW-Sanierungsprogramme vergleichbar ist.

Bei der Nutzungspflicht für EE-Wärmeerzeuger besteht eine große Überschneidung zur Wirkung des Marktanreizprogramms (MAP). Denn es wird unterstellt, dass die der Nutzungspflicht unterliegenden Hauseigentümer (privat und gewerblich) eine Förderung durch das MAP erhalten können. Bei der Darstellung der Instrumentenwirkung wird die Wirkung des MAP aus dem MWMS übernommen und der Überschneidungseffekt komplett der Nutzungspflicht zugerechnet. Alternativ ließe sich die Überschneidung auch auf beide Instrumente aufteilen. Dies hätte allerdings zur Folge, dass im MEMS die (isoliert dargestellte) Wirkung des MAP im Vergleich zum MWMS abnehmen würde.

Die CO₂-Abgabe ist ebenfalls ein sehr wirkmächtiges Instrument. Die Wirkungsberechnung erfolgt hier wie oben dargestellt über eine Modellierung eines separaten Szenarios, so dass die Überschneidung mit allen Instrumenten bereits berücksichtigt ist. Trotzdem erzielt die CO₂ Abgabe noch eine signifikante Wirkung, die mit der Wirkung der Nutzungspflicht für EE-Wärme im Gebäudebestand vergleichbar ist.

Die Anpassung der Förderarithmetik der KfW-Programme für die energetische Gebäudesanierung (Etablierung des KfW-70 Standards als Leitstandard der Gebäudesanierung) führt zwar bis zum Jahr 2030 zu verhältnismäßig geringen zusätzlichen Einsparungen im Vergleich zum MMS. Mit dem damit verbundenen Effizienzstandard werden dabei allerdings wesentlich „zielkonformere“ Einsparungen angereizt, als dies heute z.B. mit einer Vollsanierung auf das Niveau „KfW-Effizienzhaus 100“ erreicht wird. Angesichts der langen Reinvestitionszyklen im Gebäudesektor leistet die Maßnahme einen wichtigen Beitrag, dass energetische Sanierungen gleich auf ein Effizienzniveau erfolgen, welches mit den übergeordneten Zielen der Transformation im Gebäudesektor vereinbar ist.

Die Verschärfung der bedingten Sanierungsanforderungen der EnEV führt ggf. zu einem Absinken der Sanierungsrate, da das höhere Anforderungsniveau Gebäudeeigentümer möglicherweise abschreckt, eine Sanierung anzugehen. Diesem Effekt wirken andere dem MEMS zugrunde liegende Instrumente entgegen, beispielsweise die Gebäude-Klimaabgabe, aber auch der CO₂-Aufschlag bei der Energiesteuer. Aus diesem Grund wird bei der Wirkungsabschätzung dieser Maßnahme von einer unveränderten Sanierungsrate ausgegangen.

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 110 TWh. Dieser Wert ist etwas niedriger als die im Rahmen der Modellierung errechnete Einsparung.

Tabelle 3-33: Einsparungen fossiler Brennstoffe pro Jahr im MEMS im Vergleich zum MMS durch zusätzliche Maßnahmen und Änderungen der Ausgestaltung bestehender Maßnahmen (ohne Wirkungen auf Umwandlungssektor)

Fossile Brennstoffeinsparungen pro Jahr [PJ]*	Instrumententyp	Wirkungsbeginn	2020	2025	2030	2035
Neugestaltung der Förderprogramme zur energetischen Gebäudesanierung	E	2016/2021	0	14	29	43
Steuerliche Abschreibung energetischer Sanierungsmaßnahmen	F	2020	5	32	59	86
Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien	E	2016	0	15	31	46
Anreizprogramm Energieeffizienz, Förderprogramm Heizungsoptimierung und Nationales Effizienzlabel für Heizungsanlagen	E/I	2016	0	3	6	6
EnEV: Verschärfung ordnungsrechtlicher Anforderungen an Neubauten und Bestandsgebäuden inkl. Nachrüstpflichten für Heizkessel	R	2016/2019	1	11	18	30
EE-Wärme Nutzungspflicht im Gebäudebestand	R	2020	4	24	42	59
Förderung NT-Wärmenetze	E	2017	1	7	15	22
Energieeffizienzverpflichtungssystem	R	2021	0	8	18	27
CO ₂ -Aufschlag Energiesteuer		2025	0	29	44	62

Anmerkung: * Nur fossile Brennstoffe in der dezentralen Wärmeerzeugung ohne Fernwärme und Strom
 Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A-5-1 im Anhang

Quelle: Berechnung Öko-Institut

Tabelle 3-34: Emissionsminderung durch Einsparung fossiler Brennstoffe pro Jahr im MEMS im Vergleich zum MMS

Direkte Emissionsminderung [Mt CO ₂]*	Instrumententyp	Wirkungsbeginn	2020	2025	2030	2035
Neugestaltung der Förderprogramme zur energetischen Gebäudesanierung	E	2016/2021	0,0	0,9	1,9	2,8
Steuerliche Abschreibung energetischer Sanierungsmaßnahmen	F	2020	0,4	2,1	3,9	5,6
Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien	E	2016	0,0	1,3	2,6	3,9
Anreizprogramm Energieeffizienz, Förderprogramm Heizungsoptimierung und Nationales Effizienzlabel für Heizungsanlagen	E/I	2016	0,0	0,2	0,4	0,4
EnEV: Verschärfung ordnungsrechtlicher Anforderungen an Neubauten und Bestandsgebäuden inkl. Nachrüstpflichten für Heizkessel	R	2016/2019	0,1	0,7	1,3	1,9
EE-Wärme Nutzungspflicht im Gebäudebestand	R	2020	0,3	1,6	2,7	3,8
Förderung NT-Wärmenetze	E	2017	0,1	0,5	1,0	1,5
Energieeffizienzverpflichtungssystem	R	2021	0,0	0,5	1,2	1,8
CO ₂ -Aufschlag Energiesteuer		2025	0	1,9	2,7	3,7

Anmerkung: * Nur fossile Brennstoffe in der dezentralen Wärmeerzeugung ohne Fernwärme und Strom
 Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A 5 1 im Anhang

Quelle: Berechnung Öko-Institut

Die Auswirkungen auf die Stromnachfrage sind im MEMS im Vergleich zum MMS sehr gering (vgl. Tabelle 3-39). Bei der Nutzungspflicht für EE-Wärmeerzeuger resultiert der Anstieg der Stromnachfrage aus einem verstärkten Einsatz elektrischer Wärmepumpen, die durch das Instrument induziert werden. Die Gründe für den Anstieg der Stromnachfrage bei der Neugestaltung der Förderprogramme der KfW werden oben beim MWMS beschrieben.

Tabelle 3-35: Einsparungen bei der sektoralen Stromnachfrage im MEMS im Vergleich zum MMS durch zusätzliche Maßnahmen und Änderungen der Ausgestaltung bestehender Maßnahmen im (ohne Wirkungen auf Umwandlungssektor)

Fossile Brennstoffeinsparungen pro Jahr [PJ]*	Instrumententyp	Wirkungsbeginn	2020	2025	2030	2035
Neugestaltung der Förderprogramme zur energetischen Gebäudesanierung	E	2016/2021	0,0	0,2	0,3	0,5
Steuerliche Abschreibung energetischer Sanierungsmaßnahmen	F	2020	-0,1	-0,5	-0,9	-1,3
Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien	E	2016	0,0	-0,2	-0,3	-0,5
Anreizprogramm Energieeffizienz, Förderprogramm Heizungsoptimierung und Nationales Effizienzlabel für Heizungsanlagen	E/I	2016	0,0	0,0	0,0	0,0

Fossile Brennstoffeinsparungen pro Jahr [PJ]*	Instrumententyp	Wirkungsbeginn	2020	2025	2030	2035
anlagen						
EnEV: Verschärfung ordnungsrechtlicher Anforderungen an Neubauten und Bestandsgebäuden inkl. Nachrüstpflichten für Heizkessel	R	2016/2019	0,0	-0,5	-1,0	-2,4
EE-Wärme Nutzungspflicht im Gebäudebestand	R	2020	0,1	0,4	0,7	0,9
Förderung NT-Wärmenetze	E	2017	0,0	-0,1	-0,2	-0,3
Energieeffizienzverpflichtungssystem	R	2021	0,0	-0,1	-0,3	-0,4

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

Quelle: Berechnung Öko-Institut

3.1.3.6 Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Vergleich der Szenarien

Tabelle 3-36 zeigt die Emissionsentwicklungen für CO₂, CH₄ und N₂O im Sektor private Haushalte (Wärme- und Kältebereitstellung sowie Geräte) von 1990 bis 2035 sowie die seit 1990 bzw. 2005 erzielten Minderungen im Überblick. Bis zum Jahr 2035 sinken die Emissionen im MMS auf ca. 53 Mt CO₂e, im MWMS sinken sie um etwa 2 Mt CO₂e mehr auf ca. 51 Mt CO₂e. 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 nennenswerten zusätzlichen Einsparung fossiler Brennstoffe führen, liegen die Emissionen in beiden Szenarien im Jahr 2020 bei rund 76 Mt CO₂e, 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.

Die zusätzlichen Maßnahmen im MEMS wirken entsprechend auch beim THG-Rückgang, so dass mit 71 % eine deutlich höhere Minderung als im MWMS erreicht wird. Dies ist auf die in Abschnitt 3.1.3.5 beschriebenen zusätzlichen Energieeffizienzmaßnahmen in Gebäuden sowie den höheren Anteil EE-Wärme in der Versorgungstechnik zurückzuführen.

Tabelle 3-36: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Sektor private Haushalte (Wärme- und Kältebereitstellung sowie Geräte) zwischen 1990 und 2035 im Vergleich der Szenarien

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO ₂ e								
CO ₂ -Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2014	128,6	111,0	105,5	84,3				
MMS					74,6	63,9	56,8	51,6

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
MWMS					74,9 ⁵⁴	63,2	55,4	49,7
MEMS					74,2	59,9	47,0	36,2
CH ₄ -Emissionen								
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
MEMS					0,8	0,8	0,9	1,0
N ₂ 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
MEMS					0,3	0,2	0,2	0,2
Summe CO₂+CH₄+N₂O								
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
MEMS					75,3	61,0	48,1	37,4
Summe CO₂+CH₄+N₂O								
Veränderung ab 1990 in %								
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
MEMS					-42,4	-53,4	-63,2	-71,4
Summe CO₂+CH₄+N₂O								
Veränderung ab 2005 in %								
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
MEMS					-32,7	-45,5	-57,0	-66,6

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

Im MMS des Projektionsberichts 2015 (BMUB 2016a) betragen die THG-Emissionen des Gebäudesektors im Jahr 2020 77 Mt CO₂e und im MWMS 63 Mt CO₂e. Die im Rahmen des Projektionsberichts

⁵⁴ 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 Fernwärmenachfrage, 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).

2017 ermittelten Emissionsniveaus für den Gebäudesektor sind also mit denen im MMS des Projektionsberichts 2015 vergleichbar. Grund 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.⁵⁵ Im Rahmen der Erstellung des Projektionsberichts 2017 wurde die Abbildung der KWK-Anlagen im Strommarktmodell komplett überarbeitet (Kapitel 3.1.7.1). 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 3-37 zeigt die Emissionsentwicklungen für CO₂, CH₄ und N₂O im Sektor GHD (Wärme- und Kältebereitstellung sowie Geräte und Prozesse) von 1990 bis 2035 sowie die seit 1990 bzw. 2005 erzielten Minderungen im Überblick. Bis zum Jahr 2035 sinken die Emissionen im MMS auf ca. 28 Mt CO₂e, im MWMS sinken sie um 1,3 Mt CO₂e mehr auf ca. 27 Mt CO₂e. 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 CO₂e, 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. Wie im Wohngebäudebereich zeigen die im MEMS unterstellten Maßnahmen eine signifikante zusätzliche Wirkung mit Bezug auf den THG Emissionsrückgang. Hier wird wie im Wohngebäudebereich auch ein zusätzlicher Rückgang von 10 Prozentpunkten gegenüber dem MWMS im Jahr 2035 erreicht. Der Rückgang der THG Emissionen von 1990 bis 2035 beträgt im MEMS 80 %.

Tabelle 3-37: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Sektor GHD (Wärme- und Kältebereitstellung sowie Geräte und Prozesse) zwischen 1990 und 2035 im Vergleich der Szenarien

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO₂e							
CO₂-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
MEMS					41,7	34,5	25,3	17,5
CH₄-Emissionen								

⁵⁵ Eine Aufteilung der Wärmeproduktion auf die verschiedenen Nachfragesektoren war damals nicht möglich.

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO₂e								
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
MEMS					0,1	0,0	0,1	0,1
N₂O-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
MEMS					0,1	0,1	0,1	0,1
Summe CO₂+CH₄+N₂O								
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
MEMS					41,9	34,7	25,5	17,6
Summe CO₂+CH₄+N₂O								
Veränderung ab 1990 in %								
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
MEMS					-52,6	-60,8	-71,2	-80,1
Summe CO₂+CH₄+N₂O								
Veränderung ab 2005 in %								
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
MEMS					-12,5	-27,6	-46,9	-63,2

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 3.1.3/0) 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 Haushaltsgeräte 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 Endenergienachfrage 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 Gerätekategorien zusammen, die im Modell des Weiteren nach Technologien und bzw. oder Effizienzklassen differenziert werden:

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

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

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

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

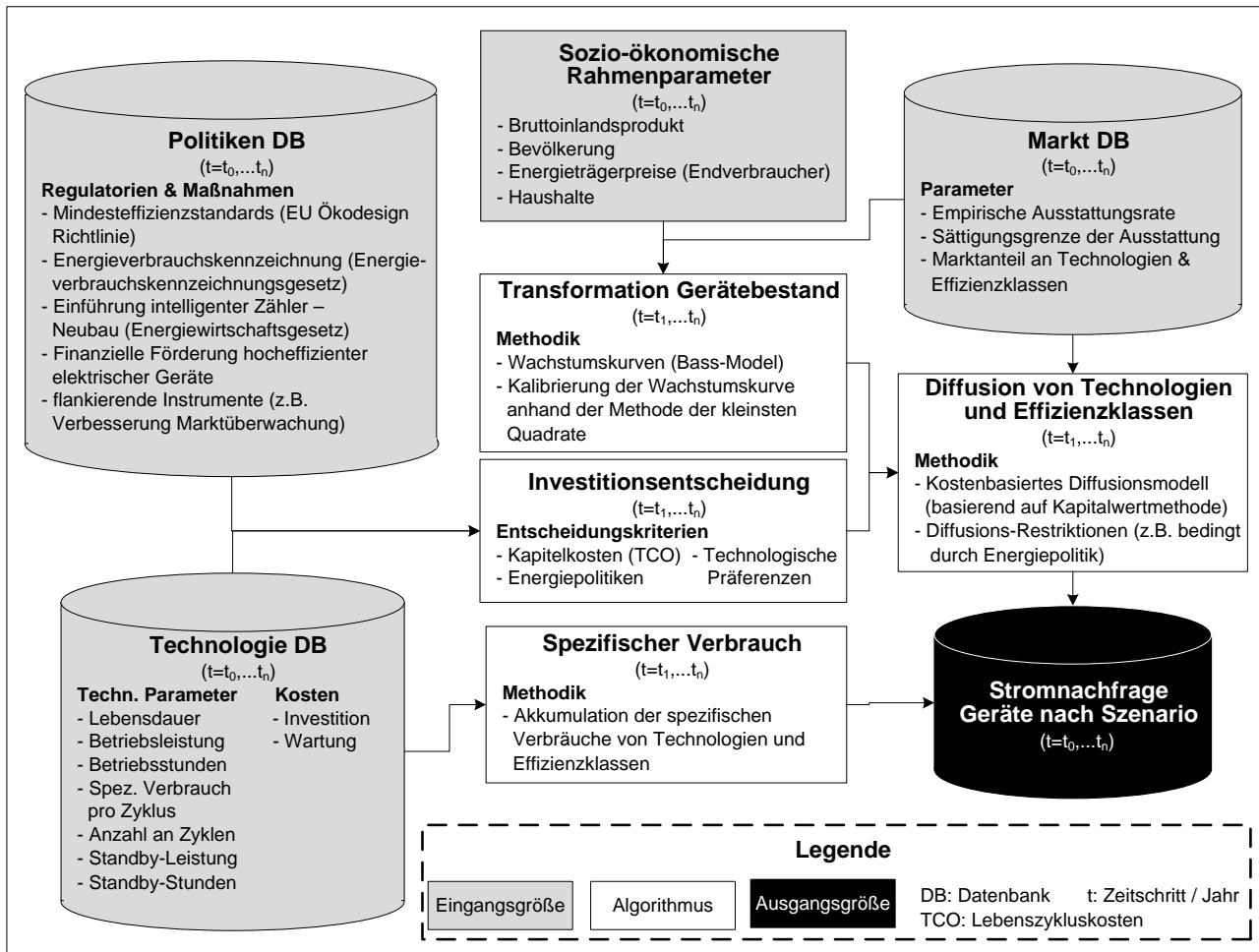
Dieser Aufbau gilt grundsätzlich für alle berücksichtigten Gerätekategorien mit Ausnahme des Restaggregats der sonstigen elektrischen Anwendungen. Bei dieser Kategorie lässt sich dieser Ansatz aufgrund der großen Heterogenität nicht durchführen. Die Stromnachfrage im Basisjahr wird für die sonstigen 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 3-8 dargestellt.

Abbildung 3-8: Modellüberblick FORECAST-Residential (Geräte-Modul)



Quelle: Elstrand 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 Ausstattungsrate ermittelt, die mit der angenommenen Anzahl an Haushalten (siehe Kapitel 2.5.2) multipliziert wird. Die Annahmen zur Entwicklung der Ausstattungsrate orientieren sich dabei an den in den Politikszenerien 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 3-38

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 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 3-38: Erwartete Entwicklung des Bestands an elektrischen Geräten in privaten Haushalten

Gerätebestand	2010	2012	2015	2020	2025	2030	2035
	1.000 Stück						
Große Elektrische HH-Geräte							
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
IKT-Endgeräte							
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
Beleuchtung	1.276.390	1.295.551	1.324.771	1.375.624	1.407.625	1.432.222	1.456.851
Klimageräte	1.431	1.880	2.634	4.108	5.720	7.367	8.954

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 (2014c), 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 3.1.4.4 und 3.1.4.5. 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 3-39. 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 3-39: 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 %						
Große elektrische HH-Geräte								
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
IKT-Endgeräte								
Desktop-PC	122,70	0,00	-10,27	-24,37	-45,56	-64,79	-70,66	-70,66
Computer-	48,80	-1,43	-10,45	-22,54	-38,52	-51,64	-53,48	-53,48

Spezifischer Geräteverbrauch	2008	2010	2012	2015	2020	2025	2030	2035
	kWh/ Gerät	MMS: Veränderung gegenüber 2008 in %						
Bildschirm								
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
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 (2014c), 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 3-38).

Spezifischer Geräteverbrauch

Die im MWMS betrachteten Maßnahmen induzieren zusätzliche Reduktionen des spezifischen Geräteverbrauches (siehe Tabelle 3-40). 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 3-40: 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

3.1.4.2.3 Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (MEMS)

Gerätebestand

Die Ausstattungsdaten im Bereich Haushaltsgeräte, Beleuchtung und Kühlung werden nicht von den im MEMS betrachteten Maßnahmen beeinflusst, so dass die Abschätzungen für den Gerätebestand sich nicht unterscheiden zwischen MMS, MWMS und MEMS. Der abgeschätzte Gerätebestand ist daher gleich wie im MMS (siehe Tabelle 3-38).

Spezifischer Geräteverbrauch

Die im MEMS betrachteten Maßnahmen induzieren zusätzliche Reduktionen des spezifischen Geräteverbrauches (siehe Tabelle 3-42). Dieser kommt im Wesentlichen durch eine schnellere Durchdringung des Marktes mit hocheffizienten Geräten zustande, die durch die Einführung eines ambitionierten Energieeffizienzverpflichtungssystems sowie ambitionierter Energieeffizienzmindeststandards unterstützt werden. Unsicherheiten ergeben sich durch die zukünftige Verfügbarkeit von weiteren Effizienzverbesserungen insbesondere im Bereich der IKT. Effizienzpotenziale bei Beleuchtung werden bereits im MWMS vollständig genutzt, so dass sich im MEMS keine weiteren Einsparungen ergeben.

Tabelle 3-41: Erwartete Entwicklung des spezifischen Verbrauchs elektrischer Geräte in privaten Haushalten im MEMS

Spezifischer Geräteverbrauch	2010	2012	2015	2020	2025	2030	2035
	MEMS: Veränderung gegenüber MMS in %						
Große elektrische HH-Geräte	0,0	0,0	0,0	-1,4	-7,8	-14,4	-17,6
Elektrische Herde	0,0	0,0	0,0	-0,7	-3,2	-5,1	-7,4
IKT-Endgeräte	0,0	0,0	0,0	-3,6	-22,7	-37,6	-36,6
Beleuchtung	0,0	0,0	0,0	-17	-50,5	-50	-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 3-42. Dabei verzeichnen die privaten Haushalte bis 2035 einen kontinuierlichen Rückgang des Stromverbrauchs.

Tabelle 3-42: 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
Summe	110,65	109,17	109,52	104,33	98,59	95,64	95,28

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 3-43 grenzt die zu quantifizierenden Maßnahmenwirkungen ab und definiert die entsprechenden Vergleichsszenarien.

Tabelle 3-43: 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.
Ökosteuern	Zur Abschätzung der Wirkung der Ökosteuern 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 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 Ökosteuern, 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, TWh. Im Jahr 2030 steigen diese auf rund 33,7 TWh und im Jahr 2035 auf 37,2 TWh (siehe nachfolgende Tabelle 3-44). Die größten Einsparungen ergeben sich durch die Ökodesign-Richtlinie, gefolgt von der Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung.

Tabelle 3-44: 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 Umset- zung seit 2009	5,7	14,9	19,9	20,7	22,8
Energieverbrauchskennzeich- nungsverordnung (EnVKV)	R/I	Quantifiziert ab Ein- führung des neuen Energielabels 2010	1,9	3,0	5,2	6,4	7,3
Ökosteuer	F	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 einkom- mensschwache Haushalte (Stromspar Check)	E/I	Quantifiziert ab 2009	0,1	0,15	0,2	0,2	0,2
Flankierende Instrumente		Laufende Umset- zungsmaßnahmen	-	0,1	0,9	1,6	1,7
Summe aller Einzelmaßnahmen			8,0	20,2	30,3	33,7	37,2

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 3-45: Übersicht der Maßnahmen im Bereich private Haushalte-Strom (MWMS)

Maßnahme	Typ	Beschreibung/Ziele (Wir- kungsbereich)	Wirkungsbeginn
Mindeststandards nach Ökodesign-Richtlinie	R	Im MWMS werden weitere Umsetzungsmaßnahmen ag- gregiert betrachtet.	Wirkung be- rechnet ab 2017
Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung (EnVKV)	R/I	Es wird angenommen dass Deutschland sich (erfolgreich) für eine ambitionierte Reska- lierung des Europäischen Energielabels einsetzt.	Wirkung be- rechnet ab 2017
Energieeffizienzverpflichtungssystem	E/R	Es wird angenommen dass durch die Effizienzverpflich- tung eine beschleunigte Marktdurchdringung mit effi- zienten Geräten im Bereich weiße Ware und Beleuchtung erzielt wird.	Wirkung be- rechnet ab 2016

Quelle: Fraunhofer ISI

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

Tabelle 3-46 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 3-46: Entwicklung des Stromverbrauchs privater Haushalte 2010–2035 im MWMS

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
Summe	110,65	109,17	109,52	102,97	90,87	84,68	82,38

Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI

Tabelle 3-47 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 3-47: 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
Energieeffizienzverpflichtungssystem	E/R	Quantifiziert ab 2021	-	-	1,2	3,0	3,7
Summe aller Einzelmaßnahmen			0	1,5	6,2	9,0	9,8

Quelle: Schätzung Fraunhofer ISI
 Anmerkung: Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A-5-1 im Anhang

3.1.4.5 Ergebnisse der Projektion des Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario

Im MEMS werden zusätzlich zum MWMS die in Tabelle 3-48 dargestellten Maßnahmen betrachtet. Zusätzlich wirken die in Abschnitt 2.7.3.3.2 dargestellten flankierenden Maßnahmen, deren Wirkung implizit in der Quantifizierung der Maßnahmen in Tabelle 3-50 enthalten ist.

Tabelle 3-48: Übersicht der Maßnahmen im Bereich private Haushalte-Strom (MEMS)

Maßnahme	Typ	Beschreibung/Ziele (Wirkungsbereich)	Wirkungsbeginn
Verschärfung der Mindeststandards nach Ökodesign-Richtlinie	R	Im MEMS werden weitere Umsetzungsmaßnahmen aggregiert betrachtet. Es wird angenommen dass die Umsetzungsmaßnahmen sich an der besten Verfügbaren Technologie orientieren. Die Umsetzung ist also deutlich ambitionierter als die derzeitige Umsetzung anhand der Least-Life-Cycle-Costs.	Wirkung berechnet ab 2019
Energieeffizienzverpflichtungssystem	E/R	Es wird angenommen, dass durch ein ambitioniertes Effizienzverpflichtungssystem eine beschleunigte Marktdurchdringung mit effizienten Geräten im IKT-Bereich erzielt wird.	Wirkung berechnet ab 2021

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

Tabelle 3-49 gibt einen Überblick über die Entwicklung des Stromverbrauchs privater Haushalte im MEMS nach Anwendungsbereichen. Dabei verzeichnen die privaten Haushalte bis 2035 einen kontinuierlichen Rückgang des Stromverbrauchs, der im Vergleich zum MWMS insbesondere im Bereich IKT (vor allem Fernseher) und Weiße Ware noch deutlich ausgeprägter ist. Im Vergleich zum MMS (MWMS) ist der Stromverbrauch im Jahr 2035 um insgesamt 23 % (11 %) geringer. Die größten Einsparungen im Vergleich zum MWMS liegen im Bereich IKT (35 %) und Weiße Ware (10 %). Der sonstige Strombedarf, etwa für elektrische Kleingeräte und neue IKT, entwickelt sich zum wichtigsten Bestandteil im Jahr 2035 mit einem Anteil von 37 %. Eine weitere Senkung des sonstigen Strombedarfs gegenüber dem MWMS wird nicht angenommen. 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 3-49: Entwicklung des Stromverbrauchs privater Haushalte 2010–2035 im MEMS

Stromverbrauch MEMS	2010	2012	2015	2020	2025	2030	2035
	TWh						

Stromverbrauch MEMS	2010	2012	2015	2020	2025	2030	2035
	TWh						
Weiße Ware	34,05	33,33	31,90	28,33	24,46	22,32	21,31
Elektroherd	13,37	13,64	13,82	13,22	11,73	9,48	7,94
IKT-Endgeräte	21,02	20,87	20,62	19,22	14,12	10,84	11,15
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
Summe	110,65	109,17	109,52	101,94	85,06	75,72	73,36

Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI

Tabelle 3-50 stellt die Wirkung der strombezogenen Maßnahmen im Sektor private Haushalte im MEMS 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 und MWMS.

Tabelle 3-50: Wirkung der strombezogenen Maßnahmen im Sektor private Haushalte - MEMS

Maßnahme	Instrumen- tentyp	Wirkungsbe- ginn	Einsparungen am Stromaufkommen (zusätzlich zu MMS)				
			2015	2020	2025	2030	2035
			TWh				
Verschärfung der Mindeststandards nach EU-Ökodesign-Richtlinie	R	Quantifiziert ab 2019	-	1,0	2,5	3,8	4,2
Energieeffizienzverpflichtungssystem	E/R	Quantifiziert ab 2021	-	-	3,3	5,1	4,8
Summe aller Einzelmaßnahmen			0	1,0	5,8	8,9	9,0

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 **Ener-gienachfragemodell FORECAST**⁵⁶ 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 anderen erlaubt er Rückschlüsse auf die Realitätsnähe der Energieszenarien, indem jedem Szenario eine spezifische technologische Entwicklung zugrunde liegt.

⁵⁶ Weitere Informationen siehe <http://www.forecast-model.eu/>

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, berücksichtigt jedoch auch Investitionshemmnisse.

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.

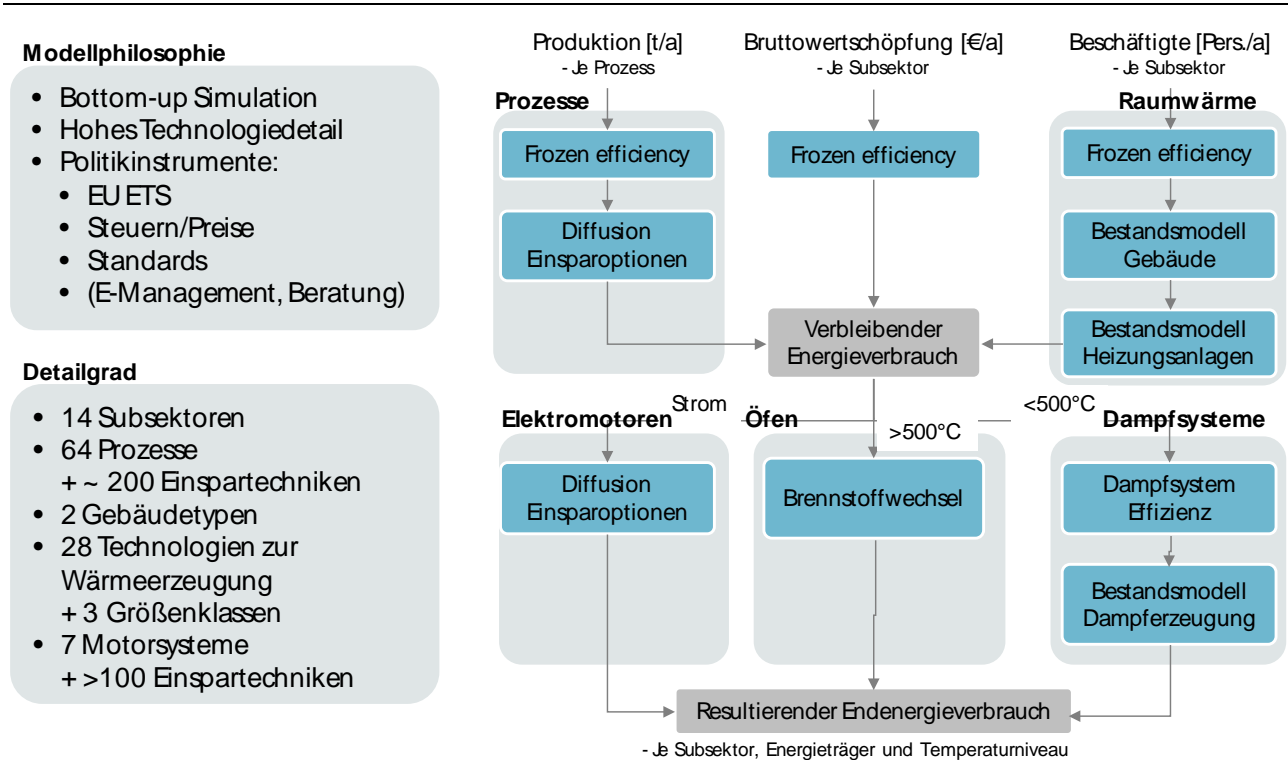
FORECAST-Industry ist hierarchisch aufgebaut und unterteilt die Industrie anhand der Energiebilanzen in einzelne Wirtschaftszweige bzw. Subsektoren. Diesen sind Prozesse zugeordnet, welche durch einen spezifischen Energieverbrauch und eine Aktivitätsgröße beschrieben werden.

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, Industrieöfen (Brennstoffwechsel) und Warmwasser- und Dampferzeugung und Verteilung* unterschieden werden (siehe auch Abbildung 3-9 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 Techniken 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 Altersstruk-

- tur 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 und 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 3-9: Überblick des Modells FORECAST-Industry



Quelle: (Fleiter et al. 2013)

Die Branchenstruktur des Industriemodells (Tabelle 3-51) 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 3-51: Branchenstruktur von FORECAST-Industry (angelehnt an AGEb)

Wirtschaftsbereiche Industrie	WZ 2008
Gew. v. Steinen und Erden, sonst. Bergbau	8

Wirtschaftsbereiche Industrie	WZ 2008
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. CO₂-Preise, Steuern, Mindeststandards), so kann er besonders für eher diffuser wirkende Maßnahmen (z.B. Energieberatung oder Energiemanagement) nicht genutzt werden. Für diese Maßnahmen wird eine Einzelmaßnahmenbewertung durchgeführt, die sich nach Möglichkeit an vorhandenen Maßnahmenevaluationen orientiert.

In jedem Fall wird das Modell FORECAST genutzt um 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 3-52 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 andere 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 3-52: Übersicht der Maßnahmen im Industriesektor: Methodik und Annahmen zu Überschneidungen und Mitnahmeeffekten

Szenario	Maßnahme	Methode	Überschneidung*	Mitnahmeeffekte
MMS	Emissionshandel	FORECAST	-	-
MMS	Ökologische Steuerreform	FORECAST	-	-
MMS	Spitzenausgleich	Einzelbewertung	39 %	10 %
MMS	EEG-Umlage	FORECAST	-	-
MMS	Besondere Ausgleichsregelung (BesAR)	Einzelbewertung	48 %	10 %
MMS	Energieberatung Mittelstand	Einzelbewertung	20 %	n.V.
MMS	Mindeststandards I	FORECAST	-	-
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	-	-
MWMS	CO ₂ -arme Industrieprozesse	FORECAST	-	-
MWMS	Wettbewerbliche Ausschreibung (STEP up! Wärme)	Einzelbewertung	20 %	15 %
MWMS	Effizienzverpflichtung	Einzelbewertung	0 %	0 %
MEMS	CO ₂ -Abgabe	FORECAST	-	-
MEMS	Energieeffizienzverpflichtung	FORECAST	-	-
MEMS	Pilotprogramm Einsparzähler	FORECAST	-	-
MEMS	Mindeststandards EU Ökodesign BVT	FORECAST	-	-

* Überschneidungen und Mitnahmeeffekte müssen nur für die Einzelbewertung korrigiert werden. Bei Bewertung über das Modell FORECAST sind diese Effekte bereits implizit berücksichtigt.

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 CO₂, 2030: 33,5 Euro/t CO₂, siehe Abschnitt 2.3). Die Preise verbessern im Modell die Wirtschaftlichkeit von energieeffizienten Technologien und CO₂-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 un-

terworfen sind. Eine Schwierigkeit bei der Modellierung ist dennoch die Abgrenzung der Unternehmen, die am Emissionshandel teilnehmen. Die energieintensiven Prozesse wurden entsprechend

Tabelle 3-53 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 3-53: Zuordnung der energieintensiven Industrieprozesse und -produkte zum Emissionshandel

Prozess	2008-2012	post 2012
Roheisen und Stahl		
Direkte Reduktion	Ja	Ja
Elektrostahl - EAF	Ja	Ja
Oxygenstahl - Hochofen	Ja	Ja
Schmelzreduktion	Ja	Ja
Walzstahl	Nein	Ja
Zementklinker und Kalk		
Gips	Ja	Ja
Kalkbrennen	Ja	Ja
Klinker Brennen (halbtrocken)	Ja	Ja
Klinker Brennen (trocken)	Ja	Ja
Ziegel	Ja	Ja
Nichteisenmetalle		
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
Keramische Erzeugnisse durch Brennen		
Feuerfestkeramik	Ja	Ja
Fliesen, Platten, Andere	Ja	Ja
Haushaltswaren	Ja	Ja
Sanitärkeramik	Ja	Ja
Technische Keramik	Ja	Ja
Glas einschließlich Glasfasern		

Prozess	2008-2012	post 2012
Behälterglas	Ja	Ja
Flachglas	Ja	Ja
Glasfasern	Ja	Ja
Übriges Glas	Ja	Ja
Zellstoff, Papier und Pappe		
Altpapierstoff	Ja	Ja
Holzstoff - Verfahren	Ja	Ja
Papier	Ja	Ja
Zellstoff - Verfahren	Ja	Ja
Chemische Produkte		
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
Andere		
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 CO₂-Zertifikatspreises auf die Investitionsentscheidung der Unternehmen folgt somit einem Simulationsansatz, bei dem die Unternehmen nicht zwangsläufig optimieren, sondern stattdessen nach Amortisationszeit entscheiden oder aufgrund nicht monetärer Faktoren bei einer Ersatzinvestition wieder das gleiche System beschaffen. Es wird angenommen, dass Unternehmen den zukünftigen Preispfad nicht kennen und stattdessen bei der Investitionsbewertung von konstanten CO₂-Preisen ausgehen. Das bedeutet, eine Investition, die im Jahr 2030 getätigt wird, wird mit einem CO₂-Preis von 33,5 Euro/t CO₂ 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 CO₂-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 ermäßigten 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 3-54 aufgeführten Prozesse direkt von der Energie- und Stromsteuer ausgenommen.

Die in

Tabelle 3-58 und Tabelle 3-59 aufgeführte Wirkung enthält nicht die Effekte durch den so genannten Spitzenausgleich, welche wie im Folgenden beschrieben, separat quantifiziert werden.

Tabelle 3-54: Von der Strom- bzw. Energiesteuer entlastete Produktionsprozesse

Prozess	Stromsteuer	Energiesteuer
Thermische Abfall- oder Abluftbehandlung		X
Elektrolyse	x	
Herstellung von:		
Glas und Glaswaren	x	X
Keramischen Erzeugnissen	x	x
Keramischen Wand- und Bodenfliesen und -platten	x	x
Ziegeln	x	x
Sonstiger Baukeramik	x	x
Zement	x	x
Kalk	x	x
Gebranntem Gips	x	x
Erzeugnissen aus Beton, Zement und Gips	x	x
Keramisch gebundenen Schleifkörpern	x	x
Mineralischen Isoliermaterialien	x	x
Asphalt	x	x
Waren aus Graphit oder anderen Kohlenstoffen	x	x
Erzeugnissen aus Porenbetonherzeugnissen	x	x
Mineralischen Düngemitteln	x	x
Prozesse der vorgenannten Erzeugnisse und Vorprodukte		
Trocknen	x	x
Brennen	x	x

Prozess	Stromsteuer	Energiesteuer
Schmelzen	x	x
Erwärmen	x	x
Warmhalten	x	x
Entspannen	x	x
Tempern	x	x
Sintern	x	x
Metallerzeugung und -bearbeitung (nur Wärmestrom bzw. Energieerzeugnisse zum Verheizen)	x	x
Im Rahmen der Herstellung von Metallerzeugnissen für die:		
Herstellung von Schmiede-, Press-, Zieh-, und Stanzteilen	x	x
Gewalzten Ringen	x	x
Pulvermetallurgischen Erzeugnissen	x	x
Oberflächenveredlung und Wärmebehandlung	x	x
Chemische Reduktionsverfahren	x	x

Quelle: Fraunhofer ISI

Spitzenausgleich im Rahmen des EnergieStG und des StromStG

Zur Quantifizierung der Einsparungen durch die verpflichtende Einführung von Energiemanagementsystemen (EMS) im Rahmen der Energie- und Stromsteuergesetze wird angenommen, dass die eingeführten Energiemanagementsysteme eine entsprechende Wirkung entfalten, wie für vergleichbare Systeme in der Vergangenheit beobachtet wurde.⁵⁷

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, wurden 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

⁵⁷ 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.

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 2,1 Mrd. Euro Steuermindereinnahmen aufgrund des Spitzenausgleichs zu verzeichnen, wovon 1,9 Mrd. auf den Stromverbrauch und 0,2 Mrd. auf die Energieerzeugnisse entfallen (§ 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 3-55 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 3-55: 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, vereinfachte Darstellung

Segment ^[1]		Besondere Ausgleichsregelung der EEG-Umlage (BesAR)	Spitzenausgleich im EnergieStG und StromStG ^[4]
Strom >5 GWh/a	Prozesse ^[2]	Entlastung wenn EMS und SKI > 14/16/20 % ^[3]	Ausgenommen (~35 TWh)
	Keine Prozesse		
Strom 1-5 GWh/a		Entlastung wenn AS und SKI > 14/16/20 % ^[3]	Entlastung bis 90 % wenn min 1000 Euro/a Stromkosten und Netto-RV-Einsparung negativ sowie EMS eingeführt
Strom < 1 GWh/a		Keine Entlastung	
Brennstoffe	Keine Prozesse	-	
	Prozesse ^[2]	-	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 Fahrtstrom von Schienenbahnen. Beides ist hier nicht berücksichtigt.

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

[3] Bei der Stromkostenintensität gelten nach EEG 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.

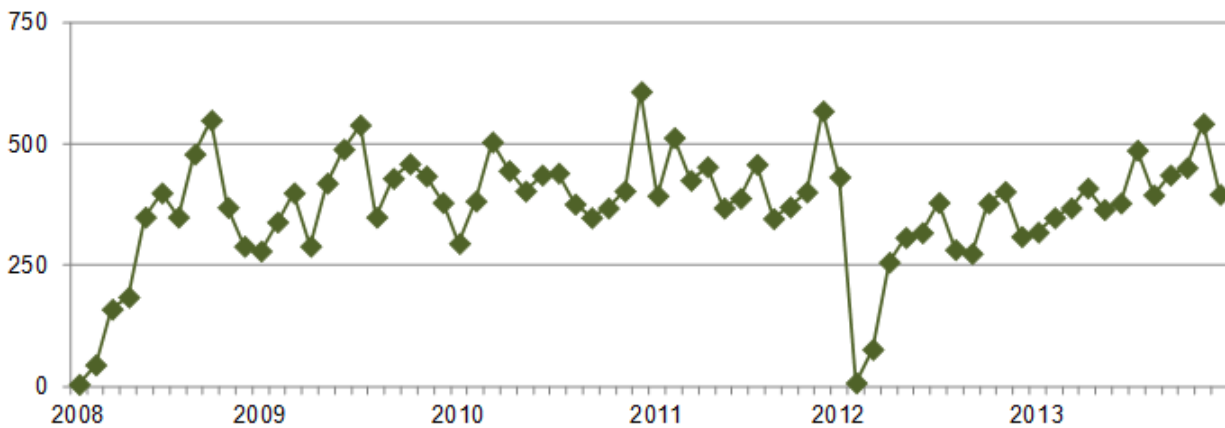
[5] Quelle: (Prognos 2016d)

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 3-10). 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 3-10: 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 Programmwirkung (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 Programmwirkung 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 Programmwirkung dar. Aufgrund der niedrigen Fallzahlen⁵⁸ sind die angenommenen Kennwerte dennoch relativ großen

⁵⁸ 64 eingereichte Anträge, 44 bewilligte Anträge und 37 Unternehmen, die in der Befragung teilgenommen haben

Unsicherheiten unterworfen. Dies wird noch durch die sehr hohe Heterogenität der Fördernehmer und der durchgeführten Maßnahmen verstärkt.

Für die Projektion der Programmwirkungen 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 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 Netzwerken⁵⁹ entspricht dies einem zusätzlichen Zuwachs von 410 Netzwerken bis 2020.

⁵⁹ <http://www.oeffizienznetzwerke.org/initiative/unsere-netzwerke/> (Zugriff: 9.11.2016)

Aus bisherigen Erfahrungen geht hervor, dass die vorgeschlagenen und durchgeführten Effizienzmaßnahmen vorwiegend im Bereich der Querschnittstechniken angesiedelt sind (Jochem et al. 2010). Laut aktuellen Evaluationsergebnissen (Jochem & Idrissova 2014) haben Netzwerke jährliche mittlere Endenergieeinsparungen von etwa 6,5 GWh/Netzwerk aufgewiesen (bei durchschnittlich 12 Unternehmen je Netzwerk). Für die Wirkungsschätzung wird davon ausgegangen, dass in Zukunft auch kleinere und weniger energieintensive Unternehmen an Netzwerken teilnehmen. Weiterhin liegt die mittlere Anzahl der Unternehmen je Netzwerk derzeit bei etwa 10. Beides führt zu einer niedrigeren Einsparung je Netzwerk von etwa 3 GWh/a.

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 Abwärmennutzung 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 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 Doppelzahlungen 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 CO₂-armen Produktionsprozessen

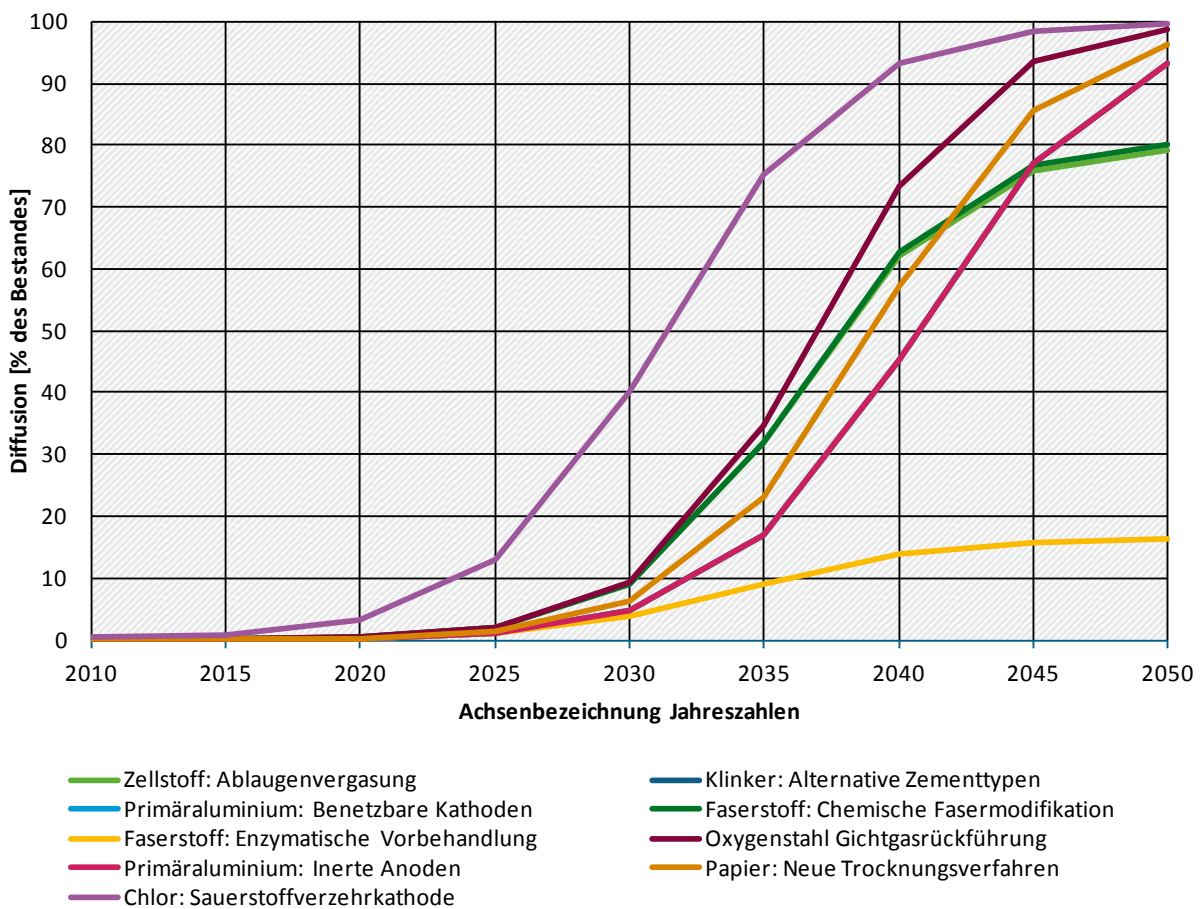
Per Definition sind die Dauer und der Erfolg des Forschungs- und Entwicklungsprozesses ungewiss. Mit dem genutzten Modell FORECAST kann entsprechend nicht die Innovation, also die Markteinführung modelliert werden. Jedoch kann die Auswirkung der Marktdiffusion auf Energieverbrauch und CO₂ Emissionen 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 3-11 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 3-11: Annahmen zur Diffusion CO₂-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

Novellierung des „Impulsprogramm gewerbliche Kälte- und Klimaanlage“

Im MWMS zeigt das Impulsprogramm eine zusätzliche Minderung durch die Förderung der Abwärmenutzung von Kälteanlagen. Für die Quantifizierung der Abwärmenutzung wird angenommen, dass durch die Förderung der Abwärmenutzung zusätzlich jährlich 20% der Abwärme geförderter Anlagen (ca. 600 GWh Abwärme ausgehend von ca. 200 GWh Stromverbrauch der Anlagen eines Förderjahres in der Kälterichtlinie) nutzbar gemacht werden und diese im selben Maße Erdgasheizungen verdrängen.

3.1.5.4 Annahmen und Parameter MEMS

Erhöhung der Energiesteuer und Anpassung der Bemessungsgrundlage an CO₂-Gehalt (CO₂-Aufschlag Energiesteuer)

Bei dieser Maßnahme ist zu beachten, dass bereits im MMS und im MWMS viele Unternehmen im Rahmen des Emissionshandels Zertifikate für THG-Emissionen bestimmter Anlagen nachweisen müssen und damit einem CO₂-Preis unterworfen sind. Unternehmen außerhalb des Emissionshandels hingegen sehen bisher keinen entsprechenden CO₂-Aufschlag. Diese Maßnahme wird entsprechend in zwei Bereichen quantifiziert:

1. Unternehmen, die nicht am Emissionshandel teilnehmen, bezahlen eine Energiesteuer, die sich am CO₂-Gehalt der Brennstoffe orientiert. Die Höhe der Energiesteuer folgt dabei dem im Szenario festgelegten Preispfad der CO₂-Zertifikate des Emissionshandels.
2. Für Unternehmen, die am Emissionshandel teilnehmen, ist der Zertifikatepreis ausschlaggebend. Dieser erlaubt es den Unternehmen, zukünftig steigende CO₂-Preise bereits frühzeitig bei Investitionsentscheidungen zu berücksichtigen, wenn Unternehmen an einen Preisanstieg glauben. Um entsprechend die Planungssicherheit zu erhöhen gilt der CO₂-Aufschlag innerhalb des Emissionshandels wie ein CO₂-Mindestpreis. Im Modell wird diese Anpassung des Investitionskalküls umgesetzt, indem die Preis-Zeitreihe 10 Jahre vorgezogen wird. D.h. bei einer Investition im Jahr 2020 wird der CO₂-Preis des Jahres 2030 zugrunde gelegt. Bei Anlagen und Prozessen mit häufig mehr als 20 Jahren Lebensdauer spiegelt dieser Preis in etwa den mittleren Zertifikatepreis über die Lebensdauer der Investitionen wieder. Ohne einen entsprechenden Mindestpreis „glauben“ Unternehmen häufig nicht an steigende CO₂-Preise und legen den heutigen Preis zur Bewertung von Investitionen an.

In beiden Fällen ergibt sich die CO₂-Einsparung aus der Preissensitivität der Unternehmen hinsichtlich Investitionen in Energieeffizienz und vor allem Brennstoffwechsel.

Tabelle 3-56 zeigt den relativen Preisaufschlag je Energieträger, verursacht durch den angenommenen CO₂-Preis sowie das „Vorziehen“ der CO₂-Preise um 10 Jahre. Bezugsgröße ist der mittlere Energieträgerpreis der Industrie. Es ist deutlich zu erkennen, wie der Preis von Kohle im Jahr 2020 durch den CO₂-Aufschlag in etwa verdoppelt wird, während der Erdgaspreis dadurch lediglich um 20% ansteigt.

Tabelle 3-56: Aufschlag auf den mittleren Industrie-Energietrgerpreis verursacht durch CO₂-Preis und das „Vorziehen“ der CO₂-Preiszeitreihe um 10 Jahre

Energietrger	2020	2025	2030	2035
Heizl, leicht	14%	14%	20%	29%
Steinkohle	84%	75%	100%	146%
Braunkohle	109%	110%	166%	246%
Erdgas	20%	20%	30%	44%
Heizl, schwer	19%	18%	26%	38%

Pilotprogramm Einsparzähler

Da das Programm erst anlft, sind noch keine empirischen Daten zur Programmwirkung vorhanden. Weiterhin ist die Einsparwirkung unsicher, da das Programm zunchst auf bessere Messinfrastruktur abzielt, die nur indirekt zu Energieeinsparungen fhrt. Entsprechend kann eine Quantifizierung nur eine Grfenordnung angeben und ist als sehr unsicher einzustufen.

Die Quantifizierung geschieht mit dem Modell FORECAST. Das Pilotprogramm beschleunigt im Modell die Diffusion von Effizienztechniken bei Elektromotoren mit Bezug zur Systemoptimierung.

Einfhrung eines ambitionierten Energieeffizienzverpflichtungssystems

Da Effizienzpotenziale bereits im MMS und MWMS durch eine Vielzahl an MaBnahmen adressiert werden und im MEMS kaum zusatzliche Potenziale unerschlossen bleiben, geschieht die Modellierung der Effizienzverpflichtung fr die Industrie mit einer Forderung von Brennstoffwechsel und insbesondere Wärmepumpen und Power-To-Heat. Im Modell wird die Erzeugung von Prozesswrme ber Erneuerbare Energien mit 10 Euro/MWh gefordert. Die Fordersätze fr PtH und Wärmepumpen liegen darber.

Ambitionierte Weiterentwicklung der Okodesign-RL

Erhohung der Standards in Richtung bester verfugbarer Technik fr folgende Lose:

- Los 11 Pumpen
- Los 11 Ventilatoren
- Los ENTR 5 Fertigungstechnik
- Los ENTR 6 Ventilatoren
- Los ENTR 6 Kltemaschinen

3.1.5.5 Ergebnisse der Projektion des Mit-MaBnahmen-Szenarios

Die im Sektor Industrie und GHD quantifizierten MaBnahmen sind in Tabelle 3-42 aufgelistet und beschrieben. Bis auf die MaBnahme „Forderung von Klte- und Klimaanlage im Gewerbe“ adressieren alle MaBnahmen (u.a.) den Sektor Industrie.

Tabelle 3-57: Übersicht der MaBnahmen in den Sektoren Industrie und GHD

MaBnahme	Typ	Beschreibung/Ziele (Wirkungsbereich)	Umsetzungsstand (Wirkungsbeginn)
Emissionshandel	E	Handel mit Emissionszertifikaten (Cap and Trade). Betrifft vorwiegend energieintensive Industrie.	Wirkung berechnet ab 2010

Maßnahme	Typ	Beschreibung/Ziele (Wirkungsbereich)	Umsetzungsstand (Wirkungsbeginn)
Ökologische Steuerreform	F	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)	E	Vergünstigungen bei der EEG-Umlage durch die Einführung von Energiemanagementsystemen	Wirkung berechnet ab 2010
Energieberatung Mittelstand	E/I	Koppelung von bezuschusster Energieberatung mit zinsgünstigen Investitionskrediten für Maßnahmenumsetzung. Zielgruppe: KMU	Wirkung berechnet ab 2010
Mindeststandards I	R	Mindeststandards für energieverbrauchende Produkte auf Basis der Durchführungsmaßnahme bzw. niedrigste Lebenszykluskosten	Wirkung berechnet ab 2010-2014
Förderung Querschnittstechniken	E	Finanzielle Förderung von Investitionen in Querschnittstechniken (Pumpen, Motoren, Abwärme, etc.)	Wirkung berechnet ab 2014
Förderung Prozesstechniken	E	Finanzielle Förderung von Investitionen in effiziente Prozesstechniken	Wirkung berechnet ab 2014
Förderung von Kälte und Klimaanlage im Gewerbe	E	Förderprogramm zur Finanzierung von Energieeffizienzmaßnahmen und Beratung im Bereich gewerbliche Kälte	Wirkung berechnet ab 2014
500 Effizienznetzwerke	V	Förderung und Aufbau von insgesamt 500 Effizienznetzwerken	Wirkung berechnet 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)	Wirkung berechnet ab 2015
Richtlinie Abwärmevermeidung und -nutzung	E	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 CO₂Emissionen ausgewiesen. Die ausgewiesene Maßnahmenwirkung ist bereits um mögliche Mitnahmeeffekte und Überschneidungen zwischen Instrumenten reduziert (siehe Tabelle 3-52).

Die Stromeinsparungen im MMS (Tabelle 3-58) 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 beider Instrumente sind derzeit noch nicht verfügbar. Entsprechend ist die geschätzte Wirkung mit hohen Unsicherheiten verbunden. Die Höhe der Wirkung deutet dennoch auf ein großes Potenzial hin, welches die Instrumente bei konsequenter Umsetzung entfalten können. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass die Einsparungen durch den Spitzenausgleich nur möglich sind, da vorher Energiesteuern eingeführt wurden.

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 durchgeführten 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 3-58: Wirkung der Maßnahmen im Sektor Industrie im MMS - Stromeinsparungen

Maßnahme	Strom-Einsparungen				
	2015	2020	2025	2030	2035
	TWh				
Emissionshandel ⁶⁰	-	-	-	-	-
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
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
Summe	9,7	20,9	28,4	31,3	32,3

⁶⁰ Eine mögliche Wirkung des Emissionshandels über in den Strompreis eingepreiste CO₂-Zertifikatepreise wurde nicht modelliert, würde jedoch auch hier zu Einsparungen führen.

Bei den Brennstoffeinsparungen zeigt sich ein weniger ausgeglichenes Bild (siehe Tabelle 3-59). 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 CO₂-Vermeidung auffällig. Diese ist zum Großteil nicht auf Energieeffizienz, sondern auf Brennstoffwechsel hin zu weniger CO₂-intensiven Energieträgern zurückzuführen. Für die Einordnung der Werte zum Emissionshandel (wie auch den anderen Instrumenten) sind die o.g. methodischen Beschränkungen zu berücksichtigen.

Tabelle 3-59: Wirkung der Maßnahmen im Sektor Industrie im MMS – Einsparungen von Brennstoffen und CO₂-Emissionen

Maßnahme	Brennstoff-Einsparungen					Vermeidung von CO ₂ -Emissionen				
	2015	2020	2025	2030	2035	2015	2020	2025	2030	2035
	PJ/a					Mt CO ₂ e/a				
Emissionshandel	0,8	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
Summe	25,1	80,1	134,3	163,6	169,2	2,1	6,1	10,1	12,2	12,6

Die angegebene Maßnahmenwirkung ist das Ergebnis aus Einzelbewertung und Systemmodellierung. Sie enthält noch nicht die Kalibrierung der Szenarien auf ZSE/NIR.

3.1.5.6 Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios

Tabelle 3-60 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 3-60: Übersicht der Maßnahmen in den Sektoren Industrie und GHD im MWMS

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

KfW Effizienzprogramm Weiterentwicklung	E	Zinsgünstige Darlehen zur Finanzierung von Energieeffizienzmaßnahmen: Erhöhung der Fördervolumina	ab 2017
Mindeststandards: Neue Lose	R	Mindeststandards für energieverbrauchende Produkte: Ausweitung auf weitere Produktgruppen	ab 2017
CO ₂ -arme Industrieprozesse	E/D	Förderung der Entwicklung und Demonstration von Prozessinnovationen (durch den Innovationsfonds des Emissionshandels)	ab 2020
Novellierung des „Impulsprogramm gewerbliche Kälte- und Klimaanlage“	E	Förderung von energieeffizienten Kälteanlagen im Gewerbe	ab 2017
Wettbewerbliche Ausschreibung (STEP up! Wärme)	E	Ausschreibungen von Energieeinsparprojekten im Bereich Wärme	ab 2017
Energieeffizienzverpflichtungssystem	V/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 CO₂-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 3-61: 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 ₂ -arme Industrieprozesse	0,0	0,0	0,2	0,7	1,4
Wettbewerbliche Ausschreibung (STEP up! Wärme)	-	-	-	-	-
Energieeffizienzverpflichtungssystem	-	-	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 CO₂-armen Produktionsprozesse hervorzuheben (Tabelle 3-61). 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 CO₂-Vermeidung von über 4 Mt im Jahr 2035 auf. Diese resultiert einzig aus dem Wechsel zu weniger CO₂-intensiven Brennstoffen, vorwiegend Biomasse.

Tabelle 3-62: Wirkung der Maßnahmen im Sektor Industrie im MWMS – Einsparungen von Brennstoffen und CO₂-Emissionen gegenüber dem MMS

Maßnahme	Brennstoff-Einsparungen					Vermeidung von CO ₂ -Emissionen				
	2015	2020	2025	2030	2035	2015	2020	2025	2030	2035
	PJ/a					Mt CO ₂ e/a				
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 ₂ -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
Energieeffizienzverpflichtungssysteme	-	-	-	-	-	-	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

Die angegebene Maßnahmenwirkung ist das Ergebnis aus Einzelbewertung und Systemmodellierung. Sie enthält noch nicht die Kalibrierung der Szenarien auf ZSE/NIR.

3.1.5.7 Ergebnisse der Projektion des Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenarios

Im MEMS werden vier zusätzliche Maßnahmen für die Industrie quantifiziert (siehe Tabelle 3-63). Alle vier Maßnahmen sind als Querschnittsmaßnahmen definiert und zeigen demnach auch in anderen Sektoren Wirkung.

Tabelle 3-63: Übersicht der Maßnahmen in den Sektoren Industrie und GHD im MEMS

Maßnahme	Typ	Beschreibung/Ziele (Wirkungsbereich)	Umsetzungsstand (Wirkungsbeginn)
CO ₂ -Aufschlag Energiesteuer	F	CO ₂ -Aufschlag in der Energiesteuer auf Energieträger	ab 2018
Energieeffizienzverpflichtungssystem	R	Zielvorgaben für Energieeinsparungen. Für die Industrie modelliert als Förderung von Erneuerbaren Energien und besonders Power-to-Heat und Wärmepumpen für die Prozesswärme-bereitstellung.	ab 2020
Pilotprogramm Einsparzähler	F	Förderung von IT-Pilotprojekten zum Sparen von Strom, Gas, Wärme oder Kälte	ab 2020
Mindeststandards EU Ökodesign BVT	R	Mindeststandards im Rahmen der EU Ökodesign Richtlinie entsprechend bester verfügbarer Technik	ab 2020

Bei den Stromeinsparungen (siehe Tabelle 3-64) fällt auf, dass die Energieeffizienzverpflichtung negative Einsparungen aufweist, die bis 2035 mit etwa 10 TWh durchaus erheblich sind. Dies ist allerdings auf die Förderung von Power-To-Heat (Elektrokessel) und Wärmepumpen zurückzuführen, die auf der anderen Seite eine Reduktion des Brennstoffbedarfs bewirken (siehe Tabelle 3-65).

Darüber hinaus führen die modellierten Mindeststandards zu zusätzlichen Einsparungen in Höhe von etwa einer TWh pro Jahr. Die Wirkung des Pilotprogramms Einsparzähler ist unter den gegebenen Annahmen sehr niedrig. Dies ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass mit dem im MEMS bereits bestehenden Politikmix zur Förderung der Energieeffizienz die im Modell vorhandenen Potenziale

weitestgehend ausgeschöpft werden. Entsprechend ist die verbleibende Wirkung des Pilotprogramms niedrig. Diese Überschneidungen und Mitnahmeeffekte sollten bei der Programmgestaltung berücksichtigt werden. Unabhängig davon ist die Quantifizierung der Wirkung sehr hohen Unsicherheiten unterworfen.

Tabelle 3-64: Wirkung der Maßnahmen im Sektor Industrie im MEMS – Stromeinsparungen gegenüber dem MWMS

Maßnahme	Strom-Einsparungen				
	2015	2020	2025	2030	2035
	TWh				
CO ₂ -Aufschlag Energiesteuer	-	- 0.1	- 0.1	- 0.1	- 0.1
Energieeffizienzverpflichtungssystem	-	- 0.2	- 3.2	- 5.4	- 9.8
Pilotprogramm Einsparzähler	-	0.0	0.1	0.1	0.1
Mindeststandards EU Ökodesign BVT	-	0.7	0.8	0.8	0.8
Summe	-	0.4	- 2.4	- 4.6	- 9.0

Die Vermeidung von direkten CO₂-Emissionen geht auf die Maßnahmen CO₂Abgabe sowie die Energieeffizienzverpflichtung zurück. Die Instrumente erreichen jeweils etwas mehr als 2 Mt/a bis 2035. Bei der Energieeffizienzverpflichtung ist zu beachten, dass - bedingt durch die Quellenbilanz - ein Teil der Emissionen in den Stromsektor verschoben wird.

Tabelle 3-65: Wirkung der Maßnahmen im Sektor Industrie im MEMS – Einsparungen von Brennstoffen und CO₂-Emissionen gegenüber dem MWMS

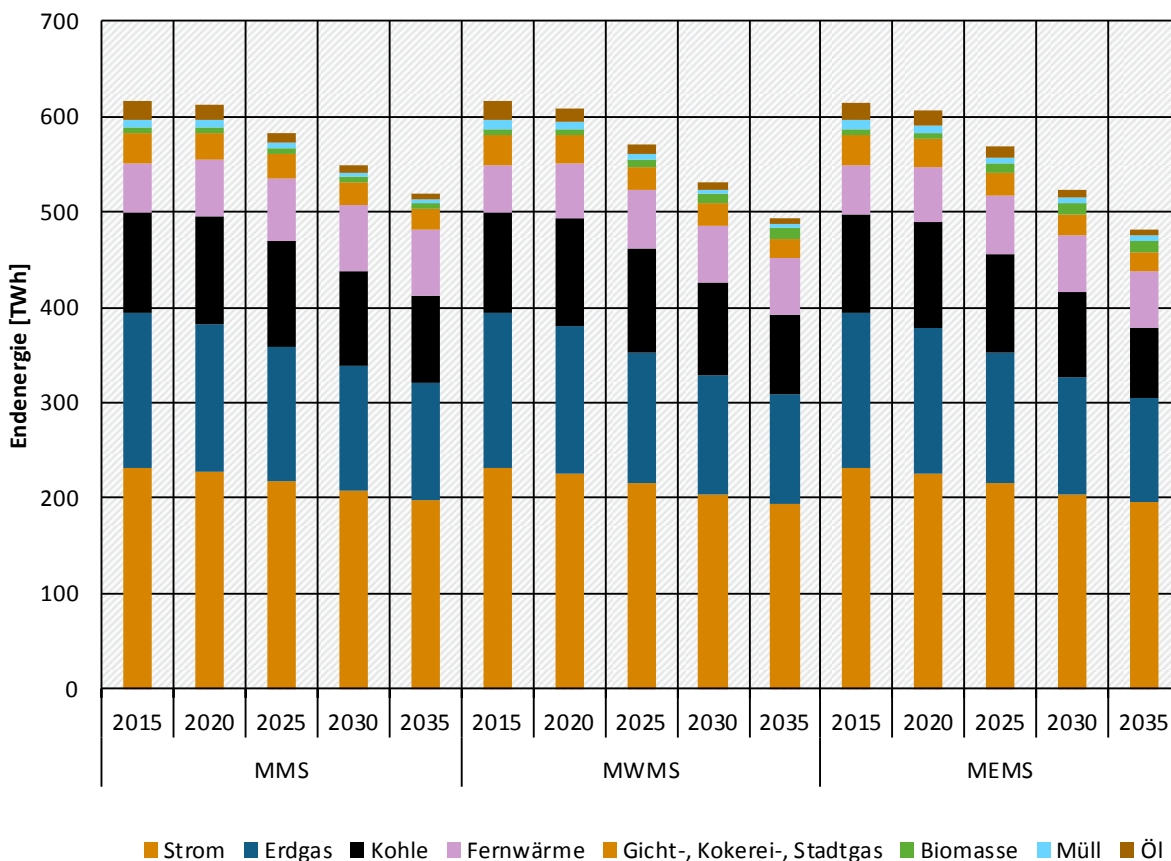
Maßnahme	Brennstoff-Einsparungen					Vermeidung von CO ₂ -Emissionen				
	2015	2020	2025	2030	2035	2015	2020	2025	2030	2035
	PJ/a					Mt CO ₂ /a				
CO ₂ -Aufschlag Energiesteuer	-	0.8	1.1	1.6	4.4	-	1.0	1.3	1.6	2.3
Energieeffizienzverpflichtungssystem	-	-0.0	24.9	38.0	55.7	-	-0.0	1.0	1.8	2.5
Pilotprogramm Einsparzähler	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mindeststandards EU Ökodesign BVT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Summe	-	0.8	26.0	39.6	60.1	-	1.0	2.3	3.3	4.8

Die angegebene Maßnahmenwirkung ist das Ergebnis aus Einzelbewertung und Systemmodellierung. Sie enthält noch nicht die Kalibrierung der Szenarien auf ZSE/NIR.

Szenarioübergreifend ist die Entwicklung der Endenergienachfrage der Industrie in Abbildung 3-12 dargestellt. Bereits im MMS ist nach 2020 ein deutlicher kontinuierlicher Rückgang der Nachfrage zu verzeichnen. Dieser beträgt von 2015 bis 2035 etwa 14% im MMS, 20% im MWMS und 22% im MEMS.

Der Rückgang ist zu kleinen Teilen auf eine Verschiebung hin zu KWK-Wärme zurückzuführen und zu deutlich größeren Teilen auf die strukturelle Entwicklung der Industrie sowie einen ambitionierten Effizienzfortschritt.

Abbildung 3-12: Entwicklung der Endenergienachfrage der Industrie (ohne KWK-Wärme)



3.1.5.8 Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Vergleich der Szenarien

Tabelle 3-66 zeigt die Emissionsentwicklungen für CO₂, CH₄ und N₂O im Sektor Industrie (ohne Industriekraftwerke, aber einschließlich bauwirtschaftlichem Verkehr⁶¹) 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 CO₂e, im MWMS sinken sie um etwa 4 Mt CO₂e mehr auf ca. 42 Mt CO₂e. 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 CO₂e, was einem Rückgang von 46-47 % im Vergleich zum Jahr 1990 entspricht. Im MEMS werden gegenüber dem MWMS bis 2035 weitere etwa 4 Mt CO₂e/a vermieden und damit für den gesamten Industriesektor der Zielkorridor des Klimaschutzplans 2050 im Jahr 2030 erreicht. Reduktionen über das MEMS hinaus verlangen eine Substitution des verbleibenden Einsatzes von Kohle und Erdgas.

Betrachtet man die einzelnen Gase, ist zu erkennen, dass die Emissionsreduktionsmaßnahmen auf die Emissionen aller drei relevanten Treibhausgase (CO₂, CH₄ und N₂O) zurückzuführen sind. Mengemäßig ist die Entwicklung der CO₂-Emissionen beherrschend. Zwischen 2014 und 2035 ergibt sich für CO₂ 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.

⁶¹ Entsprechend CRF-Kategorien der 2006 IPCC Guidelines ist der bauwirtschaftliche Verkehr dem Sektor 1.A.2 Industrie (englisch *manufacturing industries and construction*) zugeordnet.

33 % im MWMS. Im Vergleich zum Jahr 1990 ist die Reduktion der N₂O-Emissionen mit 67 % (MMS) bzw. 69 % (MWMS) in beiden Szenarien am höchsten, gefolgt von der Reduktion der CO₂-Emissionen um 61 % im MMS und 65 % im MWMS. Die CH₄-Emissionen reduzieren sich zwischen 1990 und 2035 um 52 % (MMS) bzw. 54 % (MWMS) in beiden Szenarien. CO₂ ist und bleibt das mit Abstand dominierende Gas mit 99% an den Gesamtemissionen der Industrie im Jahr 1990 wie auch 2035.

Tabelle 3-66: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Sektor Industrie (ohne Industriekraftwerke und ohne Industrieprozesse) zwischen 1990 und 2035 im Vergleich der Szenarien

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
CO₂-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
MEMS					61,1	53,2	44,9	36,9
CH₄-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
MEMS					0,1	0,1	0,1	0,1
N₂O-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
MEMS					0,3	0,3	0,3	0,2
Summe CO₂+CH₄+N₂O								
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
MEMS					61,6	53,6	45,3	37,2
Summe CO₂+CH₄+N₂O	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
MEMS					-47,6	-54,4	-61,5	-68,4
Summe CO₂+CH₄+N₂O	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

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
MEMS					-16,8	-27,6	-38,8	-49,8

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 Energiedienstleistungen zusammen. Die Verbreitung von Effizienzmaßnahmen senkt den spezifischen Energieverbrauch einzelner Energiedienstleistungen und spiegelt so eine unterschiedliche Überwindung von Hemmnissen durch politische Instrumente zur Förderung der Energieeffizienz wider bzw. variierende Energiepreise. Modelliert wird die Diffusion von Effizienzmaßnahmen als eine Summe von Investitionsentscheidungen der Unternehmen. Im 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.

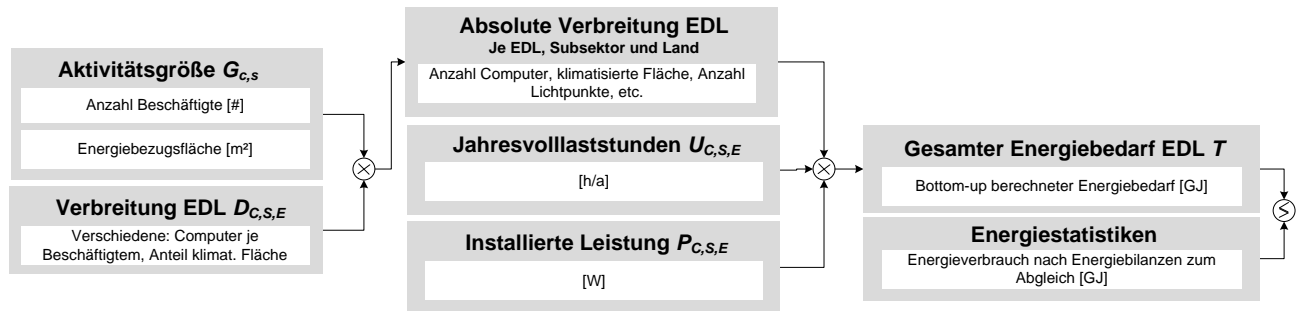
Der Energiebedarf je Branche wird als Summe des Energiebedarfs von bis zu 13 einzelnen Energiedienstleistungen (EDL) berechnet, die zusammen für den Großteil des Stromverbrauchs im Sektor GHD verantwortlich sind. Beispiele für EDL sind Beleuchtung, Kühlung oder IKT-Anwendungen. Bei den meisten EDL ergibt 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 Schломann 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 Aktivitäts-

größe (z.B. Lichtpunkte pro Fläche oder Computer je Beschäftigtem), das absolute Nachfrageniveau nach einer Energiedienstleistung berechnet. Multipliziert mit den jährlichen Volllaststunden 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 Volllaststunden an, die abhängig von der Diffusion der Effizienzmaßnahmen gesenkt werden.

Abbildung 3-13: 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 Volllaststunden) [h/a]
- P_{S,E} = Installierte Leistung je „Einheit“ EDL [W]
- Δ_{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 0 dargestellt, da diese auch den Industriesektor betreffen. Alleine das Programm zur Förderung der Energieeffizienz in Kälte- und Klimaanlage 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 Klimaanlage im Gewerbe im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative

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 % gefördert. 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 Klimaanlage“ der Nationalen Klimaschutzinitiative

Für die Projektion der Wirkung einer Novellierung des Impulsprogramms gewerbliche Kälte- und Klimaanlage 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 eingesetzt⁶². Weiterhin wird angenommen, dass etwa 20 % der geförderten Unternehmen auch ohne Förderung eine entsprechende Abwärmenutzung umgesetzt hätten. Diese Mitnahmeeffekte werden von der Programmwirkung 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

Wenngleich eine Vielzahl von Einzelmaßnahmen sowohl die Industrie wie auch Unternehmen des GHD-Sektors betrifft, so stechen einige Maßnahmen aufgrund der hohen Einsparwirkung deutlich hervor. Dies ist bei den Stromeinsparungen insbesondere die EU-Ökodesign Richtlinie über die in diesem Rahmen erlassenen Mindeststandards für Produkte und Geräte. Bis 2035 macht sie etwa die Hälfte aller Stromeinsparungen im MMS aus.

⁶² 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 3-67: Wirkung der Maßnahmen im Sektor GHD im MMS – Stromeinsparungen

Maßnahme	Strom-Einsparungen				
	2015	2020	2025	2030	2035
	TWh/a				
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 Klimaanlage 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
Summe	17,1	25,9	27,5	26,5	24,8

Auch bei den Brennstoffeinsparungen zeigen die Mindeststandards eine hohe Wirkung, werden jedoch von Maßnahmen wie den Energieaudits, Energieberatungen und Effizienznetzwerken übertroffen.

Tabelle 3-68: Wirkung der Maßnahmen im Sektor GHD im MMS – Einsparungen von Brennstoffen und CO₂-Emissionen

Maßnahme	Brennstoff-Einsparungen					Vermeidung von CO ₂ -Emissionen				
	2015	2020	2025	2030	2035	2015	2020	2025	2030	2035
	PJ/a					Mt CO ₂ 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 Klimaanlage 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
Summe	3,4	11,9	19,9	22,9	23,0	0,2	0,8	1,3	1,4	1,4

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

Im MWMS zeigt bei der Stromeinsparung die Erweiterung der EU-Ökodesign Richtlinie auf zusätzliche Gerätegruppen (Lose) die höchste Wirkung, mit etwa 4,5 TWh Einsparung gegenüber dem MMS in 2035.

Tabelle 3-69: 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
Novellierung des „Impulsprogramm gewerbliche Kälte- und Klimaanlage“	-	-	-	-	-
Energieeffizienzverpflichtungssystem	-	-	1,1	2,7	3,3
Summe	0,4	2,2	5,0	7,2	7,9

Die Wirkung im MWMS wird durch die Novellierung des Impulsprogramms gewerbliche Kälte- und Klimaanlage bestimmt. Hier führt eine verstärkte Nutzung der Abwärme dieser Anlagen zur Substitution von Erdgas, das für die Bereitstellung von Raumwärme eingesetzt wurde. Da die Abwärme nicht als Energieträger bilanziert wird ergibt sich folglich die unten aufgeführte Brennstoffeinsparung.

Tabelle 3-70: Wirkung der Maßnahmen im Sektor GHD im MWMS – Einsparungen von Brennstoffen und CO₂-Emissionen gegenüber dem MMS

Maßnahme	Brennstoff-Einsparungen					Vermeidung von CO ₂ -Emissionen				
	2015	2020	2025	2030	2035	2015	2020	2025	2030	2035
	PJ/a					Mt CO ₂ e/a				
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 Klimaanlage“	-	1.1	2.9	4.8	5.5	-	0.1	0.2	0.3	0.3
Energieeffizienzverpflichtungssystem	-	-	0.4	1.1	1.3	-	-	0.0	0.1	0.1
Summe	-	1.6	4.3	7.1	8.1	-	0.1	0.3	0.4	0.5

3.1.6.5 Ergebnisse der Projektion des Mit-Erweiteren-Maßnahmen-Szenarios

Im Folgenden ist die zusätzliche Wirkung der Maßnahmen des MEMS quantifiziert. Die Wirkung auf Energieeinsparungen und CO₂-Emissionen wird dabei in Summe über alle Instrumente angegeben. Die Modellierung der Einsparungen ist über verfügbare (technologiespezifische) Potenziale geschehen, die prinzipiell über verschiedene Instrumente erschlossen werden können. Dazu zählen je nach Ausgestaltung auch die vier für das MEMS aufgeführten Instrumente. Die Einsparungen wurden realisiert über zusätzliche Verbesserungen bei Innen- sowie Straßenbeleuchtung, Rechenzentren und Kühlgeräten vorwiegend in Supermärkten.

Tabelle 3-71: Wirkung der Maßnahmen im Sektor GHD im MEMS – Stromeinsparungen gegenüber dem MWMS

Maßnahme	Strom-Einsparungen				
	2015	2020	2025	2030	2035
	TWh				
CO ₂ -Abgabe	Nicht maßnahmenscharf quantifiziert				
Energieeffizienzverpflichtung					
Pilotprogramm Einsparzähler					
Mindeststandards EU Ökodesign BVT					
Summe	-	-	2,6	5,1	7,8

Einsparungen bei den direkten CO₂-Emissionen ergeben sich im MEMS gegenüber dem MWMS durch Brennstoffwechsel, nicht durch weitere Brennstoffeinsparung (siehe folgende Tabelle).

Tabelle 3-72: Wirkung der Maßnahmen im Sektor GHD im MEMS – Einsparungen von Brennstoffen und CO₂-Emissionen gegenüber dem MWMS

Maßnahme	Brennstoff-Einsparungen					Vermeidung von CO ₂ -Emissionen				
	2015	2020	2025	2030	2035	2015	2020	2025	2030	2035
	PJ/a					Mt CO ₂ /a				
CO ₂ -Abgabe	Nicht maßnahmenscharf quantifiziert									
Energieeffizienzverpflichtung										
Pilotprogramm Einsparzähler										
Mindeststandards EU Ökodesign BVT										
Summe	-	-	-	-	-	-	-	0,4	1,1	1,3

3.1.7 Kraftwerke

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 Analysis⁶³) 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.

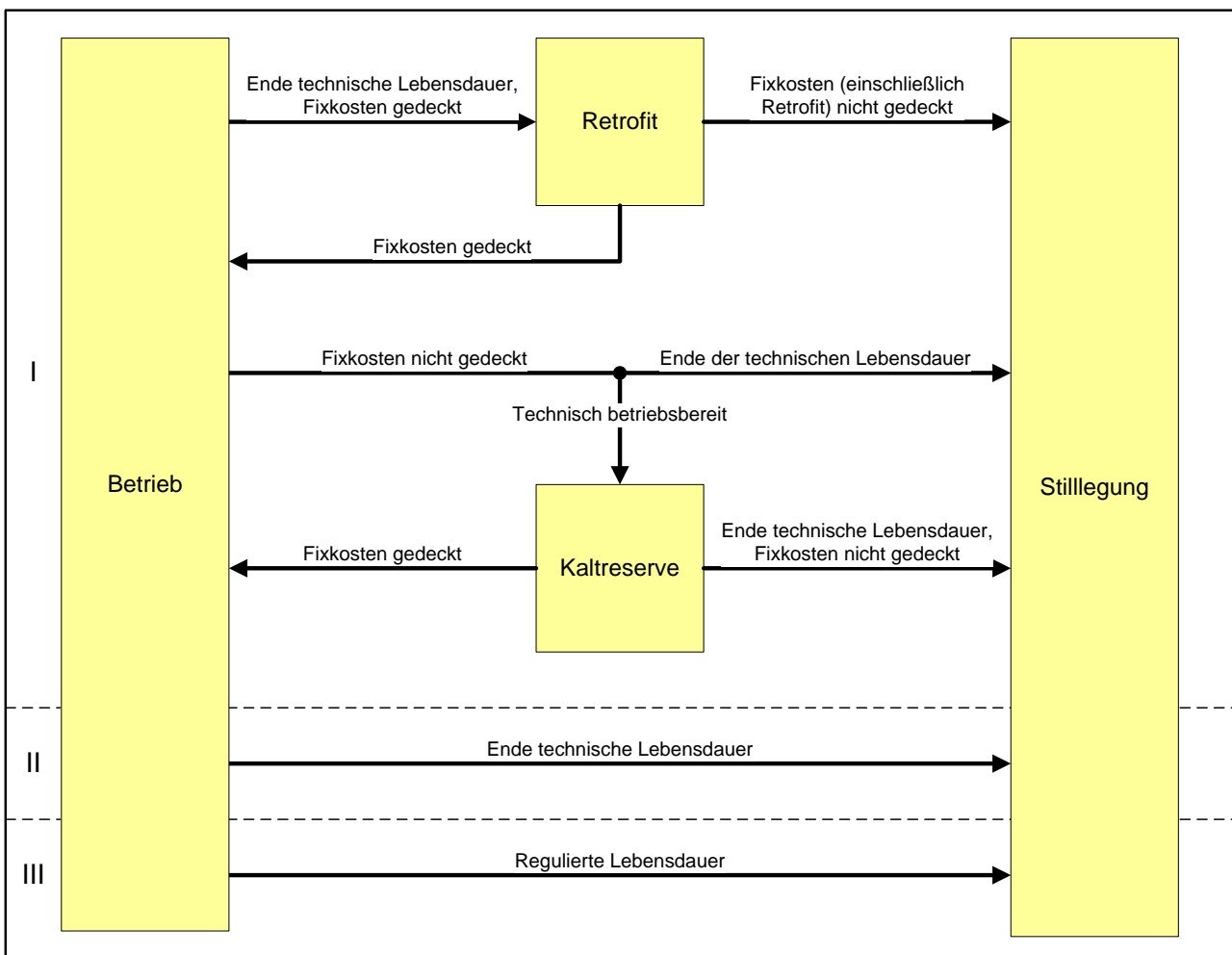
Bei ELIAS handelt es sich um ein Vintage-Capital-Modell. Es wird die Altersstruktur des Kraftwerksparks mit unterschiedlichen Technologie-Jahrgängen (Vintages) dargestellt. Durch die Abbildung des

⁶³ Eine ausführliche Dokumentation ist in der dazugehörigen Dissertationsschrift enthalten (Harthan 2015).

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 3-14 für eine Übersicht der Stilllegungskalküle in ELIAS). ELIAS verwendet die Ergebnisse des Kraftwerkseinsatzmodells PowerFlex sowohl beim Stilllegungskalkül als auch beim Investitionskalkül nach ökonomischen Kriterien. Gleichermäßen dient die in ELIAS ermittelte Entwicklung des Kraftwerksparks als Input für PowerFlex.

Abbildung 3-14: Stilllegungskalküle in ELIAS



Quelle: (Harthan 2015)

3.1.7.1.2 PowerFlex

Das am Öko-Institut entwickelte Strommarktmodell PowerFlex⁶⁴ ist ein Fundamentalmodell, welches thermische Kraftwerke, die Stromeinspeisung aus erneuerbaren Energien, Pumpspeicherkraftwerke und flexible Stromverbraucher kostenminimal einsetzt, um die Strom- und Fernwärmenachfrage zu decken.

⁶⁴ Eine detaillierte Modellbeschreibung ist z.B. in UBA (2017a) enthalten.

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

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

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, Photovoltaik) wird in stündlicher Auflösung vorgegeben. Die tatsächlich eingespeiste Menge wird modellendogen bestimmt, sodass das zur Verfügung stehende fluktuierende Stromangebot auch als Überschuss identifiziert werden kann.

Das Erzeugungsprofil für Strom aus Kraft-Wärme-Kopplung setzt sich aus einem typischen Fernwärmeprofil und einer angenommenen Gleichverteilung für industrielle KWK-Anlagen zusammen.⁶⁵

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

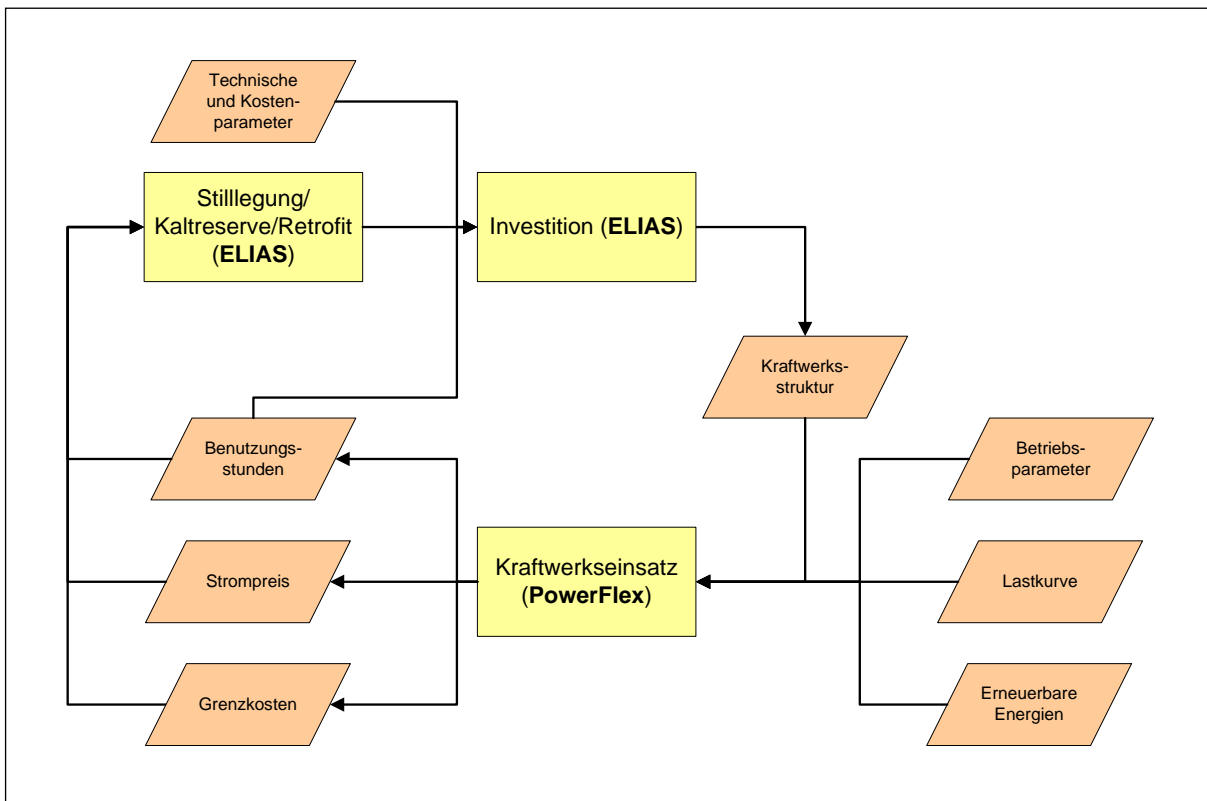
Investitionsentscheidungen in neue Kraftwerke werden aus der Perspektive eines idealtypischen Investors auf Basis der Vollkosten der Stromerzeugung als wichtigste Entscheidungsvariable sowie aufgrund von Modellvorgaben getroffen (ELIAS).⁶⁶ Der Kraftwerkseinsatz wird durch Minimierung der Summe der kurzfristigen 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 3-15).

⁶⁵ Zur modelltechnischen Implementierung der gekoppelten und ungekoppelten Fernwärmeerzeugung siehe auch Kapitel 3.1.8.1.

⁶⁶ In beiden Modellen werden innerhalb Deutschlands die Standorte von Kraftwerken oder erneuerbaren Energien in der hier eingesetzten Modellvariante nicht spezifiziert.

Da der Kraftwerkszubau im Rahmen dieses Projekts im Wesentlichen durch Modellvorgaben⁶⁷ 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 3-14).

Abbildung 3-15: Iteration zwischen Kraftwerksstilllegung und -investition (ELIAS) und Kraftwerkseinsatz (PowerFlex)



Quelle: (Harthan 2015)

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 stillgelegt⁶⁸. Tabelle 3-73 zeigt die angesetzten technischen Lebensdauern.

⁶⁷ Z.B. erneuerbare Energien analog zum durch das EEG vorgegebenen Zubaukorridor oder Erdgas-KWK-Anlagen, die durch das KWKG gefördert werden.

⁶⁸ 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

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 3-75).

Tabelle 3-73: Technische Lebensdauern der Bestandskraftwerke⁶⁹

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 Kraftwerklisten der Bundesnetzagentur (BNetzA 2016).⁷⁰ Stilllegungsanzeigen 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 2014a) als auch der Brennstoffeinsatz mit dem deutschen Treibhausgas-Inventar übereinstimmen. Hierzu wurden unter anderem die Wirkungsgrade der Bestandskraftwerke entsprechend angepasst.

Für Kondensationskraftwerke (Abbildung 3-16) 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

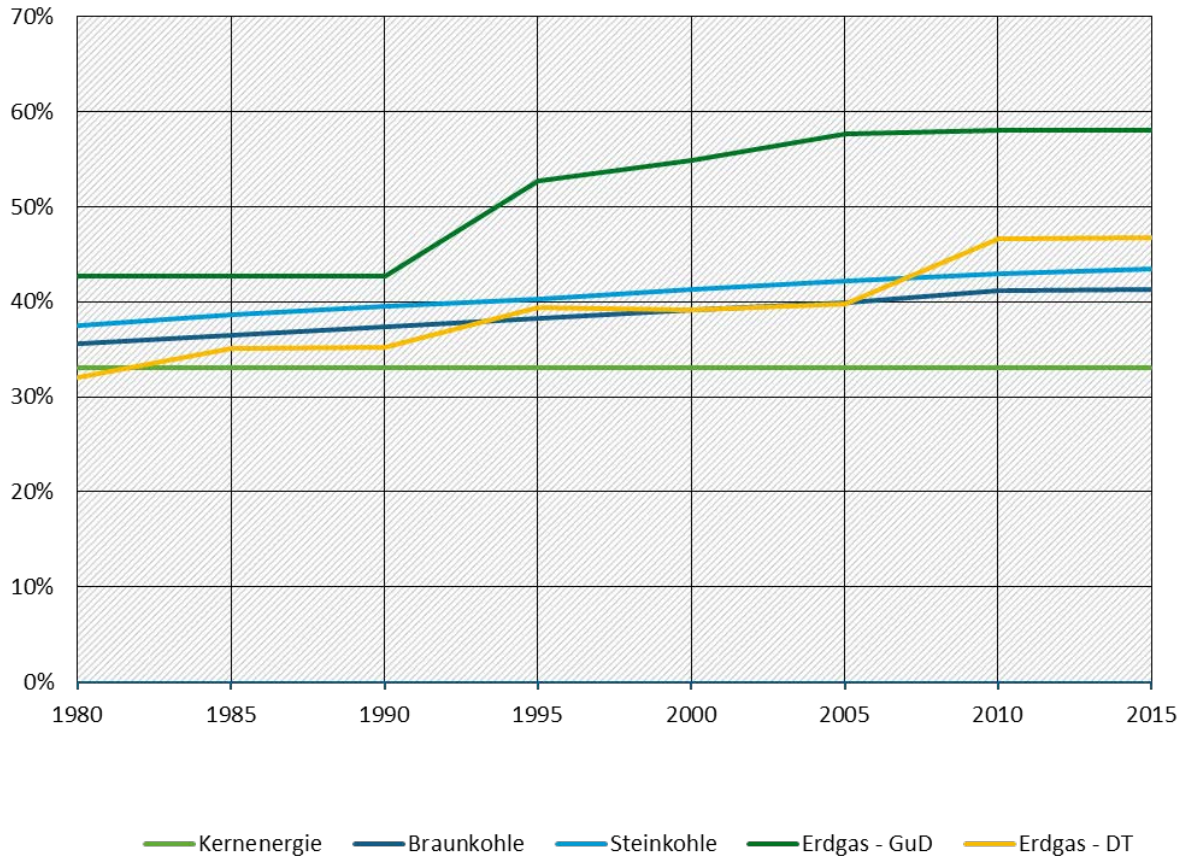
Lebensdauer stillgelegt. Zum Zeitpunkt der Modellierungsarbeiten (Anfang 2017) wird noch eine Reihe von Kohle-KWK-Anlagen betrieben, die bereits vor über 60 Jahren errichtet wurden. Vor diesem Hintergrund wird im MMS eine vergleichsweise lange Lebensdauer für Braunkohle- und Steinkohle-KWK-Anlagen von 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.

⁶⁹ Die technischen Lebensdauern bestehender Steinkohle- und Braunkohlekraftwerken werden vergleichsweise hoch angesetzt. Dies kann damit begründet werden, dass im Zuge der Einführung der Großfeuerungsanlagenverordnung (13. BImSchV) in den 1980er und 1990er Jahren viele Kraftwerke Nachrüstungsmaßnahmen unterzogen wurden und somit von einer grundsätzlichen Verlängerung der Lebensdauer ausgegangen wird. Bei den Kondensationskraftwerken erfolgt die tatsächliche Stilllegung jedoch aus ökonomischen Erwägungen (s.o.), sodass die Kraftwerke vor Erreichen der Lebensdauer in Kaltreserve gehen können oder bei wirtschaftlichem Betrieb Retrofit durchführen können und somit über die technische Lebensdauer hinaus weiterbetrieben werden können.

⁷⁰ Die Annahmen wurden ergänzt durch Kraftwerklisten des Umweltbundesamtes (UBA 2014b) 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).

optimalen Bedingungen angegeben (z.B. der Abnahmewirkungsgrad). In der Jahresperspektive entspricht der Wirkungsgrad somit dem Nutzungsgrad.

Abbildung 3-16: 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 3-74 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 MW_{el}) mit Wärmeauskopplung wurde ein Wirkungsgrad der

KWK-Scheibe von 28 % unterstellt. Für die Erdgas-KWK-Anlagen > 1 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.⁷¹ Bezüglich 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 3-74: 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 2014a

Die in Tabelle 3-74 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 ei-

⁷¹ Wenn die zugebauten Anlagen diesen Wert im Durchschnitt nicht erreichen sollten, würden die Emissionen in zukünftigen Szenariojahren höher ausfallen. Bei einem höheren elektrischen Nutzungsgrad würde die Emissionsminderung entsprechend höher ausfallen.

nen 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 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.⁷² 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 3-73).

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_{el}. 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_{el} aus dieser Versteigerung verfügbar ist.⁷³ Nach dem KWKG (§ 8c) wird die Bundesregierung rechtzeitig einen Vorschlag für die Ausschreibungsvolumen ab 2022 vorlegen, sodass sich im MMS bis 2025 im Vergleich zu 2020 lediglich ein Zubau von 300 MW_{el} in diesem Segment ergibt (davon 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).⁷⁴ 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 fort-

⁷² RWE hat im Dezember 2015 bekannt gegeben, dass der Kraftwerksblock Westfalen D nicht fertiggestellt wird. Deshalb wird dieser Kraftwerksblock in der Modellierung nicht berücksichtigt.

⁷³ 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.

⁷⁴ Zusätzlich zu den hier aufgeführten KWK-Anlagen wird auch noch die Inbetriebnahme des Erdgas-Kondensationskraftwerks in Bremen (Kraftwerk Mittelsbüren) Ende des Jahres 2016 berücksichtigt.

geschrittenen 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.

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 3-75: Kumulierter Zubau von Erdgas-KWK-Anlagen im MMS und MWMS ab 2015 (GW_{el})

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
Summe	4,5	5,0	5,0	5,0

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
Summe	4,5	7,2	9,7	12,2
Zubau im MWMS im Vergleich zum MMS	0,0	2,2	4,7	7,2

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.⁷⁵
- ▶ 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_{el} wird unterstellt, dass zwischen 2020 und 2035 ein jährlicher Zubau von 300 MW_{el} realisiert werden kann.⁷⁶

⁷⁵ 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.

Insgesamt beträgt der zusätzliche Zubau im MWMS gegenüber dem MMS damit fast 5 GW Erdgas-kraftwerkskapazität 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 3-73).

Im MEMS wird angenommen, dass zusätzlich zur Umstellung der netzgekoppelten Fernwärmeerzeugung in KWK-Anlagen auch Solarthermieanlagen und Power-to-Heat sowie Wärmespeicherung in den Fernwärmenetzen zum Einsatz kommen. Basierend auf Beuth HS & IFEU 2017, Öko-Institut & Fraunhofer ISI 2015 und eigenen Annahmen wurden die in Tabelle 3-76 dargestellten Leistungsobergrenzen für Solarthermie, Power-to-Heat und Wärmespeicher eingesetzt.

Tabelle 3-76: Leistungsbegrenzungen der erneuerbaren Fernwärme im MEMS

	Einheit	2020	2025	2030	2035
Solarthermie	MW	410	839	1.747	3.775
Power-to-Heat	MW	500	1.000	1.500	3.000
Wärmespeicher	% ⁷⁷	0,15%	0,20%	0,25%	0,30%

Quelle: Beuth HS & IFEU 2017, Öko-Institut & Fraunhofer ISI 2015, Annahmen und Berechnungen Öko-Institut

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 MEMS sinkt die Wärmeerzeugung aus KWK-Anlagen von 226 TWh in 2020 auf 206 TWh in 2030.

Die Braunkohle-Sicherheitsbereitschaft wird in allen Szenarien berücksichtigt. Insgesamt werden Kraftwerksblöcke mit einer installierten Leistung von 2,7 GW in die Sicherheitsbereitschaft überführt. Dadurch sinkt die installierte Leistung der Braunkohlekraftwerke im Jahr 2020 auf 18 GW.

Im MEMS werden zusätzliche Instrumente zur Erreichung der Emissionsminderungsziele im Stromsektor berücksichtigt. Dabei wird ein aktueller Vorschlag des Umweltbundesamts abgebildet (UBA 2017a), welcher aus zwei Elementen besteht. Zum einen werden die Volllaststunden von Kohlekraftwerken mit einem Alter von über 20 Jahren auf 4.000 Stunden pro Jahr begrenzt. Zum anderen wird die installierte Leistung der Braunkohlekraftwerke im Jahr 2020 um 5 GW reduziert (Kapazitätsmanagement). Darüber hinaus sinkt in den folgenden Stützjahren die installierte Leistung der Kohlekraftwerke durch das Kapazitätsmanagement kontinuierlich auf in Summe 19 GW im Jahr 2030.

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 3-77) wird auf Basis der Vorgaben des EEG 2017 und weiterer Abschätzungen abgeleitet. So basiert die Entwicklung der instal-

⁷⁶ Abgeleitet aus dem Ersatzbedarf, der sich im Durchschnitt durch die reduzierte technische Lebensdauer der Altanlagen im MWMS ergibt.

⁷⁷ Die Leistungsbegrenzung der Wärmespeicher basiert auf Quotienten von Speichervolumen zur jährlichen Wärmenachfrage und ist damit einheitenlos.

lierten 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 Bruttozubaues und dem entsprechenden Ausscheiden von Altanlagen lediglich zu einem geringfügigen Zubau⁷⁸.

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 und im MMS davon ausgegangen wird, dass keine über das EEG hinausgehenden Maßnahmen getroffen werden, um den Ausbau der PV zu verstärken.⁷⁹

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 ausgegangen⁸⁰. Es wird davon ausgegangen, dass der Zubau in Biogas-Anlagen erfolgt. Aufgrund des begrenzten Zubaues sowie des Ausscheidens von Altanlagen nimmt die installierte Leistung vor allem bei Biogas-Anlagen deutlich ab⁸¹, während die Leistung bei Anlagen zur 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 3-78) 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.

Im MEMS (Tabelle 3-79) werden für Windenergie an Land und auf See sowie für Photovoltaik ambitioniertere Ausbauraten angenommen. Für die Windenergie auf See wird ab 2025 eine Beschleunigung des Ausbaus angesetzt, so dass 2030 18 GW und 2035 22,4 GW erreicht werden. Bei der Windenergie an Land wird vorausgesetzt, dass alle aktuell⁸² bis 2020 angekündigten Projekte auch realisiert werden, was eine installierte Leistung von knapp 58 GW Onshore Windenergie im Jahr 2020 zur Folge hat.

⁷⁸ 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.

⁷⁹ 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.

⁸⁰ Das tatsächliche Ausschreibungsvolumen ist noch festzulegen (§ 28 (3)).

⁸¹ 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 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.

⁸² <https://www.wind-energie.de/presse/pressemitteilungen/2017/windenergie-land-analyse-deutscher-markt-2016-und-ausblick-2017-nach>

Durch einen Bruttozubau von 4 GW pro Jahr ergeben sich im Jahr 2030 dann knapp 78 GW. Bei der Photovoltaik führt ein ebenfalls bei brutto 4 GW pro Jahr liegender Zubau zu 82 GW im Jahr 2030.

Tabelle 3-77: Installierte Nettoleistung erneuerbarer Energien (MMS)

Technologie	2014	2020	2025	2030	2035
	GW				
Wasser ⁸³	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Windenergie an Land ⁸⁴	37,6	52,1	54,0	58,1	61,2
Windenergie auf See	1,0	7,5	10,7	14,9	18,9
Biogas ⁸⁵	4,3	6,0	6,2	4,9	2,9
Biomasse ⁸⁶	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 & AGEE-Stat 2016), EEG 2017, (BWE 2017), Annahmen und Berechnungen Öko-Institut

Tabelle 3-78: Installierte Nettoleistung erneuerbarer Energien (MWMS)

Technologie	2014	2020	2025	2030	2035
	GW				
Wasser	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Windenergie an Land ⁸⁴	37,6	52,1	54,0	58,1	64,6
Windenergie auf See	1,0	7,5	10,7	14,9	18,9
Biogas ⁸⁵	4,3	6,0	6,2	4,9	2,9
Biomasse ⁸⁶	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 & AGEE-Stat 2016), EEG 2017, BWE 2017, Annahmen und Berechnungen Öko-Institut

⁸³ Ohne Pumpspeicherkraftwerke mit natürlichem Zufluß

⁸⁴ 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.

⁸⁵ Einschließlich Deponiegas und Klärgas.

⁸⁶ Feste Biomasse und Pflanzenöl.

Tabelle 3-79: Installierte Nettoleistung erneuerbarer Energien (MEMS)

Technologie	2014	2020	2025	2030	2035
	GW				
Wasser ⁸³	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Windenergie an Land ⁸⁴	37,6	57,9	65,6	76,9	91,5
Windenergie auf See	1,0	7,5	10,7	18,2	22,4
Biogas ⁸⁵	4,3	6,0	6,2	4,9	2,9
Biomasse ⁸⁶	2,7	2,7	2,4	1,7	1,4
Photovoltaik	38,3	52,5	71,4	82,0	94,4
Geothermie	0,03	0,2	0,6	1,2	2,1

Quelle: (BMWi & AGEE-Stat 2016), EEG 2017, BWE 2017, Annahmen und Berechnungen Öko-Institut

Im Vergleich zum Projektionsbericht 2015 wurden die Volllaststunden für die Windenergie basierend auf neueren Forschungsergebnissen aktualisiert (Tabelle 3-80). Hierbei wird jedoch angenommen, dass für Wind-Onshore die in Öko-Institut & Forwind (2016) angenommenen Volllaststunden 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. Für das Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario wurde abweichend vom MMS und MWMS angenommen, dass durch Repowering und an die standort-spezifischen Windverhältnisse die Volllaststunden für Windenergie wie in Öko-Institut & Forwind (2016) erreicht werden. Die Volllaststunden für Photovoltaik wurden basierend auf den Erkenntnissen dieses Projekts ebenfalls angepasst. Dies ist in Tabelle 3-81 dargestellt.

Tabelle 3-80: Volllaststunden⁸⁷ zur Berechnung des Dargebots erneuerbarer Energien

Technologie	2020	2025	2030	2035
	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)

Tabelle 3-81: Volllaststunden⁸⁷ zur Berechnung des Dargebots erneuerbarer Energien im MEMS

Technologie	2020	2025	2030	2035
	h/a			
Wasser	3.690	3.690	3.690	3.690

⁸⁷ Es handelt sich um rechnerische Volllaststunden, welche sich auf die installierte Leistung am Ende eines Jahres und die Stromerzeugung dieses Jahres beziehen.

Technologie	2020	2025	2030	2035
	h/a			
Windenergie an Land	1.839	1.936	2.033	2.153
Windenergie auf See	4.027	4.032	4.036	4.084
Photovoltaik	941	989	1.038	1.038

Quelle: Wasser basierend auf historischer Auslastung im Jahr 2014, Windenergie und Photovoltaik basierend auf Öko-Institut & Forwind (2016)

Die Stromerzeugung aus Müll wird durch die im Szenariohorizont in Müllverbrennungsanlagen und EBS-Heizkraftwerke zu entsorgende Müllmenge bestimmt. Diese ist in Tabelle 3-82 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 3-83) 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).

Die Annahmen zur Stromerzeugung aus Müll für das MEMS entsprechen denen des MWMS.

In allen 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 3-82: 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
<i>Anteil biogen</i>	%	35,5 %	34,5 %	33,9 %	32,3 %	32,3 %

Quelle: Annahmen und Berechnungen Öko-Institut

Tabelle 3-83: Primärenergieeinsatz von Müll (Industriemüll, Siedlungsabfälle, Klärschlamm) im MWMS und MEMS

		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
<i>Anteil biogen</i>	%	35,5 %	34,8 %	34,3 %	33,0 %	33,0 %

Quelle: Annahmen und Berechnungen Öko-Institut

Bei der Modellierung wurde eine neue Version des Strommarktmodells des Öko-Instituts eingesetzt, welches das europäische Ausland besser abbildet (Power-Flex-EU). Die Annahmen für das europäische Ausland sind in Öko-Institut et al. (2017) dokumentiert (Basisszenario). Bezüglich des Netzausbaus mit den europäischen Nachbarländern wurde im Vergleich zu Öko-Institut et al. (2017) ein um 5 Jahre verzögerter Netzausbau unterstellt. **Die Stromimporte oder -exporte** werden entsprechend modellendogen ermittelt.

Die CO₂-Zertifikatspreise steigen in allen drei betrachteten Szenarien auf 33,5 €/EUA im Jahr 2030, für das MEMS wird jedoch angenommen, dass 2020 und 2025 leicht höhere CO₂-Preise erreicht werden als in MMS und MWMS (17,5 €/EUA bzw. 27,5€/EUA anstelle von 15 €/EUA und 22,5 €/EU, siehe auch 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.⁸⁸ Für die für die Modellierung maßgebliche Betrachtung des Kraftwerkseinsatzes ist der volle CO₂-Zertifikatspreis 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 sowie in geringerem Umfang in anderen Endverbrauchssektoren (dort insbesondere Wärmepumpen) 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

⁸⁸ Die Bedeutung der kostenlosen Zuteilung für die Wärmeproduktion nimmt im Zeitverlauf ab. 2020 beträgt sie nur noch 30% der „Grundzuteilungsmenge“ und läuft bis 2027 ganz aus (EU 2009).

Tabelle 3-84). 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.

Tabelle 3-84: 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
<i>davon für neue Verbraucher</i>	0,0	1,0	1,0	1,1	0,8	1,0
GHD	135,7	142,8	142,3	140,6	139,1	140,3
<i>davon für neue Verbraucher</i>	0,7	0,8	0,7	0,4	0,2	0,2
Haushalte	139,5	129,7	131,2	121,4	116,8	115,9
<i>davon für neue Verbraucher</i>	1,9	4,1	5,4	5,8	5,9	5,8
Schienenverkehr	16,5	11,5	11,2	11,0	10,6	10,8
Straßenverkehr (neue Verbraucher)	0,0	0,1	2,1	6,7	13,5	19,3
Stromverbrauch Endenergie	524,3	512,8	514,4	497,1	486,8	484,2
<i>Änderung ggü. 2008</i>	0,0%	-2,2%	-1,9%	-5,2%	-7,1%	-7,6%
Summe Endenergie klassische Verbraucher	521,7	506,8	505,2	483,1	466,4	457,9
<i>zu 2008</i>	0,0%	-2,8%	-3,1%	-7,4%	-10,6%	-12,2%
Summe Endenergie neue Verbraucher	2,6	6,0	9,2	14,0	20,4	26,3
<i>Anteil am Stromverbrauch Endenergie</i>	0,5%	1,2%	1,8%	2,8%	4,2%	5,4%
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 ⁸⁹	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
Stromverbrauch Energiewirtschaft	90,5	81,1	75,9	66,7	63,3	60,5
<i>Änderung ggü. 2008</i>	0,0%	-10,4%	-16,2%	-26,3%	-30,1%	-33,2%
Statistische Differenz ^a	-3,4	2,9	-1,0	-0,9	-0,8	-0,6
Bruttostromverbrauch	618,2	591,0	591,3	564,7	550,9	545,3
<i>Änderung ggü. 2008</i>	0,0%	-4,4%	-4,4%	-8,7%	-10,9%	-11,8%

⁸⁹ 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.

Bruttostromverbrauch klassische Verbraucher	615,2	584,2	581,0	549,1	528,2	516,2
<i>Anteil</i>	99,5%	98,8%	98,3%	97,2%	95,9%	94,7%
Bruttostromverbrauch neue Verbraucher	3,0	6,8	10,3	15,6	22,7	29,1
<i>Anteil</i>	0,5%	1,2%	1,7%	2,8%	4,1%	5,3%
Stromhandelssaldo ^b	-22,5	-35,6	-41,3	-38,6	-50,7	-33,8
Bruttostromerzeugung	640,7	626,6	632,6	603,2	601,6	579,2

Quelle: (AGEB 2008a-2016), (AGEB 2016). Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

Anmerkung: ^a Aufgrund der Verwendung unterschiedlicher Datenquellen ergeben sich kleine statistische Differenzen.

^b Ein positives Vorzeichen zeigt einen Importüberschuss, ein negatives Vorzeichen einen Exportüberschuss an.

3.1.7.3.2 Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario

Der Endenergieverbrauch an Strom sinkt gegenüber 2008 bis 2020 nur leicht um 2,7 % und um 8,9 % bis 2035. Wie auch schon im MMS würde er deutlich stärker sinken, wenn es nicht zu einer deutlichen Steigerung des Stromverbrauchs im Straßenverkehr durch Elektrofahrzeuge sowie in geringerem Umfang in anderen Endverbrauchssektoren (dort insbesondere Wärmepumpen) kommen würde. Im MWMS brauchen diese neuen Verbraucher im Jahr 2035 etwa 70 % mehr Strom als im MMS. Der Stromverbrauch der Elektrofahrzeuge ist im MWMS sogar fast doppelt so hoch ist wie im MMS. Mehrere unterschiedliche Effekte in der Energiewirtschaft führen dazu, 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 3-85). 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 3-85: 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
<i>davon für neue Verbraucher</i>	0,0	0,0	0,9	1,0	0,8	0,9
GHD	135,7	142,8	140,1	135,6	131,8	132,4
<i>davon für neue Verbraucher</i>	0,7	0,7	0,7	0,4	0,2	0,2
Haushalte	139,5	129,7	130,1	113,9	106,2	103,5
<i>davon für neue Verbraucher</i>	1,9	4,1	5,5	6,1	6,3	6,4

Sektor	2008	2014	2020	2025	2030	2035
	TWh					
Schienenverkehr	16,5	11,5	11,4	11,2	10,9	11,1
Straßenverkehr (neue Verbraucher)	0,0	0,1	2,1	8,7	24,0	37,2
Stromverbrauch Endenergie	524,3	512,8	514,4	497,1	486,8	484,2
<i>Änderung ggü. 2008</i>	<i>0,0%</i>	<i>-1,7%</i>	<i>-1,8%</i>	<i>-6,6%</i>	<i>-8,2%</i>	<i>-7,9%</i>
Summe Endenergie klassische Verbraucher	524,3	512,7	508,2	476,0	452,7	440,6
<i>zu 2008</i>	<i>0,0%</i>	<i>-2,2%</i>	<i>-3,1%</i>	<i>-9,2%</i>	<i>-13,7%</i>	<i>-16,0%</i>
Summe Endenergie neue Verbraucher	2,6	5,0	9,2	16,2	31,3	44,7
<i>Anteil am Stromverbrauch Endenergie</i>	<i>0,5%</i>	<i>1,0%</i>	<i>1,8%</i>	<i>3,3%</i>	<i>6,5%</i>	<i>9,2%</i>
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 ⁹⁰	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
Stromverbrauch Energiewirtschaft	90,5	81,1	75,3	64,2	59,7	56,3
<i>Änderung ggü. 2008</i>	<i>0,0%</i>	<i>-10,4%</i>	<i>-16,8%</i>	<i>-29,1%</i>	<i>-34,1%</i>	<i>-37,8%</i>
Statistische Differenz ^a	-0,8	7,8	6,2	6,5	6,5	6,9
Bruttostromverbrauch	618,2	591,0	586,5	549,8	537,2	534,7
<i>Änderung ggü. 2008</i>	<i>0,0%</i>	<i>-4,4%</i>	<i>-5,1%</i>	<i>-11,1%</i>	<i>-13,1%</i>	<i>-13,5%</i>
Bruttostromverbrauch klassische Verbraucher	615,2	585,3	576,2	531,9	502,6	485,6
<i>Anteil</i>	<i>99,5%</i>	<i>99,0%</i>	<i>98,2%</i>	<i>96,7%</i>	<i>93,6%</i>	<i>90,8%</i>
Bruttostromverbrauch neue Verbraucher	3,0	5,7	10,3	17,9	34,5	49,1
<i>Anteil</i>	<i>0,5%</i>	<i>1,0%</i>	<i>1,8%</i>	<i>3,3%</i>	<i>6,4%</i>	<i>9,2%</i>
Stromhandelssaldo ^b	-22,5	-35,6	-39,7	-43,9	-58,2	-39,2
Bruttostromerzeugung	640,7	626,6	626,2	593,7	595,4	574,0

Quelle: (AGEB 2008a-2016), (AGEB 2016). Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

Anmerkung: ^a Aufgrund der Verwendung unterschiedlicher Datenquellen ergeben sich kleine statistische Differenzen.

^b Ein positives Vorzeichen zeigt einen Importüberschuss, ein negatives Vorzeichen einen Exportüberschuss an.

⁹⁰ 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.

3.1.7.3.3 Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario

Der Endenergieverbrauch an Strom sinkt gegenüber 2008 bis 2020 nur leicht um 2,8 % und um 7,6 % bis 2035. Wie auch in den anderen beiden Szenarien würde der Stromverbrauch im MEMS deutlich stärker sinken, wenn es nicht zu sehr deutlichen Stromnachfragen durch neue Verbraucher käme. Im Jahr 2035 des MEMS haben die neuen Verbraucher eine Stromnachfrage von 92 TWh, was 18 % des gesamten Endenergieverbrauchs von Strom ausmacht. Der Stromverbrauch der neuen Verbraucher ist im MEMS mehr als doppelt so hoch wie im MWMS und etwa dreieinhalb Mal so hoch wie im MMS. Wie auch in den anderen beiden Szenarien hat der Ausbau der Elektromobilität mit Abstand den größten Anteil an den neuen Verbrauchern.

Aufgrund vergleichbarer Effekte in der Energiewirtschaft wie im MMS und MWMS sinkt der Bruttostromverbrauch auch im MEMS stärker als der Endenergieverbrauch. Gegenüber 2008 sinkt der Bruttostromverbrauch um 6,5 % bis 2020 und um 12,8 % bis 2030. Auch im MEMS wird das Ziel der Bundesregierung verfehlt, den Bruttostromverbrauch bis zum Jahr 2020 um 10 % gegenüber dem Jahr 2008 zu reduzieren. Allerdings ist die Zielverfehlung um etwa zwei Prozentpunkte geringer als im MMS. Wie bereits erwähnt, ist jedoch die Rolle der Sektorkopplung zu berücksichtigen. Diese führt dazu, dass der Bruttostromverbrauch im Jahr 2035 des MEMS nur noch um 5,8 % niedriger als 2008 und deutlich höher als in den anderen beiden Szenarien ist.

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 3-85). Gegenüber dem MMS und MWMS sinkt der Stromexportüberschuss im MEMS bis 2020 deutlich ab und liegt dann nur noch bei 26 TWh, steigt anschließend jedoch wieder deutlich an und erreicht im Jahr 2030 ein Maximum von 52 TWh. Im Jahr 2030 wird im MEMS gleichzeitig das Minimum des Stromverbrauchs erreicht, sodass 2030 der Stromexportüberschuss etwa 9 % der gesamten Bruttostromerzeugung ausmacht. Da zwischen 2030 und 2035 der Bruttostromverbrauch stark ansteigt, sinkt der Stromexportüberschuss bei nur leicht ansteigender Bruttostromerzeugung sehr stark ab und liegt 2035 bei nur noch knapp 11 TWh. Dies entspricht weniger als 2 % der Bruttostromerzeugung von 593 TWh.

Tabelle 3-86: Stromverbrauch im MEMS 2008-2035

Sektor	2008	2014	2020	2025	2030	2035
	TWh					
Industrie	232,6	228,8	226,1	216,7	204,3	195,5
<i>davon für neue Verbraucher</i>	0,0	1,2	1,8	2,1	2,1	2,0
GHD	135,7	142,8	140,9	132,6	125,9	123,6
<i>davon für neue Verbraucher</i>	0,7	0,7	0,7	0,5	0,7	1,0
Haushalte	139,5	129,7	128,8	108,4	98,1	96,6
<i>davon für neue Verbraucher</i>	1,9	4,1	5,4	6,7	8,0	10,0
Schienenverkehr	16,5	11,5	11,4	13,3	14,9	17,4
Straßenverkehr (neue Verbraucher)	0,0	0,1	2,2	12,0	41,3	79,5
Stromverbrauch Endenergie	524,3	512,8	509,4	482,9	484,4	512,5
<i>Änderung ggü. 2008</i>	0,0%	-2,2%	-2,8%	-7,9%	-7,6%	-2,3%
Summe Endenergie klassische Verbraucher	521,7	506,7	499,3	461,7	432,3	420,1
<i>zu 2008</i>	0,0%	-2,9%	-4,3%	-11,5%	-17,1%	-19,5%

Sektor	2008	2014	2020	2025	2030	2035
	TWh					
Summe Endenergie neue Verbraucher	2,6	6,1	10,1	21,3	52,1	92,4
<i>Anteil am Stromverbrauch Endenergie</i>	0,5%	1,2%	2,0%	4,4%	10,8%	18,0%
Raffinerien	6,4	6,2	5,8	4,8	3,8	2,7
Übrige Energiewirtschaft	7,7	6,8	5,8	5,3	4,3	3,8
Leitungsverluste	30,1	24,2	23,9	22,5	21,9	22,1
Pumpstrom ⁹¹	7,9	8,0	3,9	1,6	3,6	5,9
Eigenstromverbrauch Kraftwerke	38,3	35,8	28,7	23,6	19,5	14,6
Stromverbrauch Energiewirtschaft	90,5	81,1	68,2	57,8	53,1	49,1
<i>Änderung ggü. 2008</i>	0,0%	-10,4%	-24,6%	-36,1%	-41,4%	-45,7%
Statistische Differenz ^a	-3,4	2,9	-0,3	0,3	-1,7	-20,7
Bruttostromverbrauch	618,2	591,0	577,9	540,5	539,2	582,3
<i>Änderung ggü. 2008</i>	0,0%	-4,4%	-6,5%	-12,6%	-12,8%	-5,8%
Bruttostromverbrauch klassische Verbraucher	615,2	584,1	566,8	517,1	482,3	482,2
<i>Anteil</i>	99,5%	98,8%	98,1%	95,7%	89,4%	82,8%
Bruttostromverbrauch neue Verbraucher	3,0	6,9	11,2	23,4	57,0	100,1
<i>Anteil</i>	0,5%	1,2%	1,9%	4,3%	10,6%	17,2%
Stromhandelssaldo ^b	-22,5	-35,6	-26,5	-32,3	-52,1	-10,7
Bruttostromerzeugung	640,7	626,6	604,4	572,8	591,3	593,0

Quelle: (AGEB 2008a-2016), (AGEB 2016). Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

Anmerkung: ^a Aufgrund der Verwendung unterschiedlicher Datenquellen ergeben sich kleine statistische Differenzen.

^b Ein positives Vorzeichen zeigt einen Importüberschuss, ein negatives Vorzeichen einen Exportüberschuss an.

3.1.7.4 Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios

Abbildung 3-17 und Tabelle 3-87 stellen die Entwicklung der Netto-Stromerzeugung⁹² dar sowie Tabelle 3-88 die Nettoleistung für das MMS bis 2035. Der Stromverbrauch nimmt im Szenariohorizont um ca. 10 % ab (Tabelle 3-84). 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.

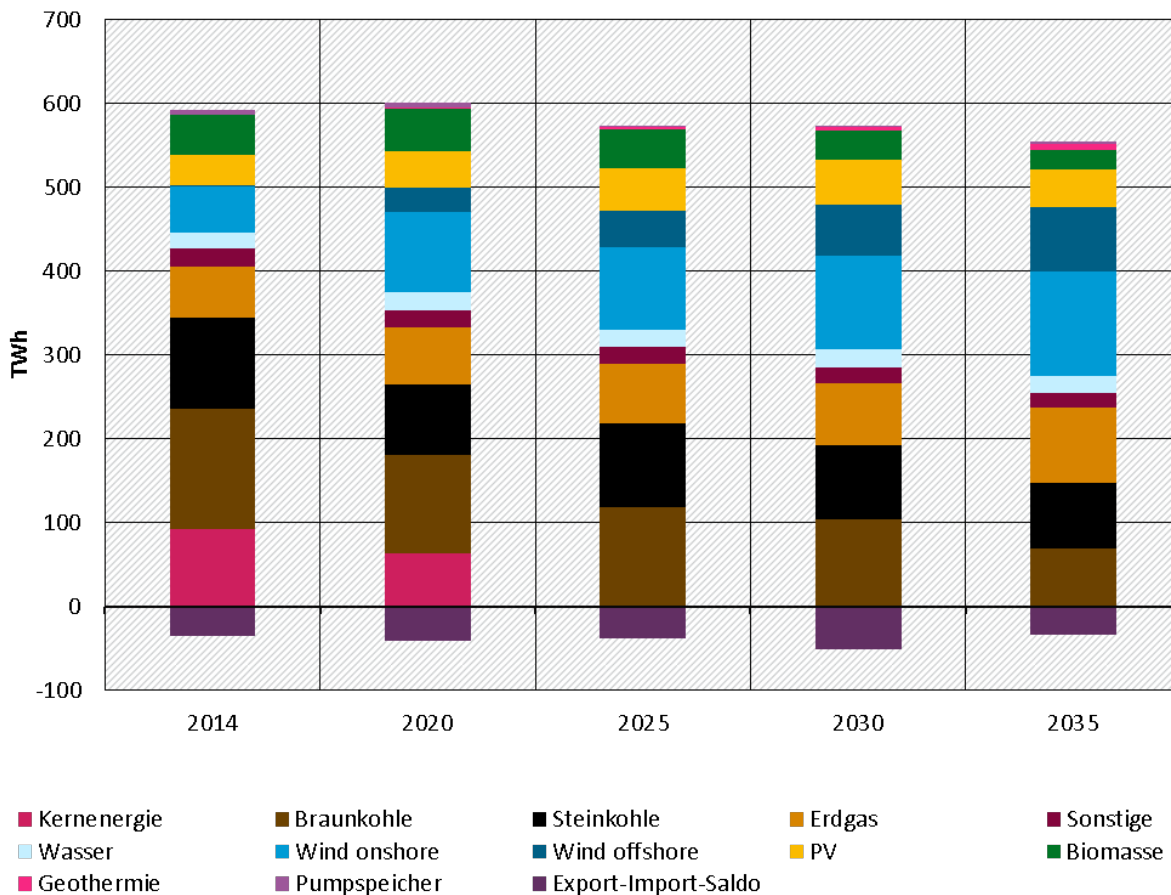
⁹¹ Der Stromverbrauch für Pumpstrom ergibt sich als Modellergebnis im PowerFlex-Modell. Dies wird von verschiedenen Faktoren wie den abgebildeten und verfügbaren Flexibilitätsoptionen (Speicher, E-Mobilität, etc.), den Möglichkeiten des Im- und Exports und dem Zusammenspiel von Angebot und Nachfrage 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.

⁹² Die Brutto-Stromerzeugung ist in Tabelle A-5-6 in Anhang 3 enthalten.

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.

Abbildung 3-17: Nettostromerzeugung im Mit-Maßnahmen-Szenario, 2014-2035⁹³



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

⁹³ Um die Übersichtlichkeit und Lesbarkeit der Grafik zu gewährleisten, werden die sonstigen Energieträger (Öl, Gichtgas, Kokereigas, Müll fossil und sonstige Gase) in der Abbildung unter Sonstige zusammengefasst, sowie feste, flüssige und gasförmige Biomasse und der biogene Anteil des Mülls unter Biomasse. Die Detailzahlen sind in

Tabelle 3-87 enthalten.

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 Erdgas-Verstromung 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 3-87).

Tabelle 3-87: 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
Pumpspeicher	6	6	2	2	3
Summe	592	601	573	574	554
Export-Import-Saldo (Import positiv)	-36	-41	-39	-51	-34

Energieträger	2014	2020	2025	2030	2035
	TWh				
Summe abzüglich Exporte	556	559	535	523	520

Quelle: Daten für 2014 basierend auf (AGEB 2016), (StBA 2014a), Modellrechnungen Öko-Institut

Die Stromerzeugung aus sonstigen Brennstoffen (Öl, Hochofengas usw.) nimmt im Szenario etwas ab. Dies liegt insbesondere am Rückbau der Ölkraftwerke im Zeitverlauf, während die Stromerzeugung aus den anderen „sonstigen“ Brennstoffen auf dem Niveau von 2014 verbleibt.

Tabelle 3-88: Installierte Nettoleistungen des Stromsektors im Mit-Maßnahmen-Szenario (inkl. 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
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
Summe	192	205	207	213	204

Quelle: Berechnungen Öko-Institut, Daten für 2014 basierend auf (BNetzA 2016), (BNetzA 2014), (DIW 2014), (NEP 2015), (Öko-Institut 2014a), (UBA 2016b), (Deutscher Bundestag 2016b), (Deutscher Bundestag 2016c)

Bezogen auf den Bruttostromverbrauch (Tabelle A-5-6) 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 absehba-

ren 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-Zubaues.

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 CO₂e (2014) auf 286 Mt CO₂e im Jahr 2030 (Tabelle 3-89), dabei entfallen ca. 60 Mt CO₂e der Minderung auf den Zeitraum bis 2020, während im Zeitraum 2020 bis 2030 nur weitere 15 Mt CO₂e 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 CO₂-Emissionen dominieren mit fast 99 % der Gesamtemissionen des Stromsektors deutlich.

Tabelle 3-89: THG-Emissionen des Stromsektors nach Subsektoren im MMS, 1990–2035

	1990	2005	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e						
CO ₂ -Emissionen	455,5	382,8	358,9	295,2	307,9	281,5	235,6
<i>Öffentliche Kraftwerke^a</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 ₄ -Emissionen	0,3	1,0	2,4	3,6	3,4	2,6	1,8
N ₂ O-Emissionen	3,5	2,8	2,8	2,5	2,5	2,2	1,8
Emissionen der Kraftwerke	459,3	386,5	364,2	301,3	313,7	286,3	239,1
<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 CO₂-Emissionen aus der Rauchgasentschwefelung (REA)

Für das Jahr 2014 betragen die THG-Emissionen des Stromsektors 364 Mt CO₂e (mit REA, Tabelle 3-90). Die Braunkohlekraftwerke tragen mit 168 Mt CO₂e den größten Emissionsanteil bei, gefolgt von den Steinkohlekraftwerken mit Emissionen in Höhe von 127 Mt CO₂e (hier inkl. Kuppelgase). Die Emissionen aus fossilen Gasen (v.a. Erdgas) liegen bei ca. 39 Mt CO₂e.

Tabelle 3-90: THG-Emissionen des Stromsektors nach Brennstoffen im MMS, 1990–2035

	1990	2005	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e						
Brennstoff							
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

Brennstoff	1990	2005	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e						
Biomasse	0,1	0,5	2,2	3,4	3,1	2,3	1,4
Summe	458,7	385,4	363,2	300,5	312,9	285,6	238,6
REA	0,6	1,1	1,0	0,8	0,8	0,7	0,5
Summe mit REA	459,3	386,5	364,2	301,3	313,7	286,3	239,1

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

Bis zum Jahr 2020 gehen die Emissionen aus der Kohleverstromung um ca. 60 Mt CO₂e 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 CO₂e 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 Braun- und Steinkohleanlagen leicht sinken und sich somit auch die Emissionen verringern. Somit betragen die Emissionen aus Braunkohlen im Jahr 2030 noch 115 Mt CO₂e, was nur noch etwa zwei Drittel des Werts von 2014 ausmacht. Die Emissionen aus Steinkohle sinken zwischen 2025 und 2030 um ca. 10 Mt CO₂e auf 102 Mt CO₂e.

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 3-88). 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 CO₂e auf 51,5 Mt CO₂e.

Darüber hinaus kommt es zu einem kleinen Emissionsbeitrag durch die Rauchgasreinigung (ca. 0,5 bis 1 Mt CO₂). 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 Instrumente wie dem EEG, dem KWKG oder dem EU-Emissionshandel entwickelt hätte. Die Maßnahmenbewertung für das MMS wird daher so durchgeführt, dass die entsprechenden Parameter im PowerFlex-Modell variiert werden.

Dabei wird nicht ein gleiches Stützjahr als Ausgangspunkt für alle Maßnahmen angesetzt, sondern jede Maßnahme wird jeweils für ihren Wirkungszeitraum einzeln ausgeschaltet. Die resultierenden CO₂-Emissionen eines Modelllaufs bei ausgeschalteter Maßnahme werden jeweils mit den CO₂-Emissionen des MMS verglichen, um die Minderungswirkung der jeweiligen Maßnahme zu quantifizieren.

Im Projektionsbericht (PB) 2015 (BMUB 2016a) 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 CO₂-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 CO₂. 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 3-91 nachrichtlich ergänzt und in die Gesamtbewertung mit aufgenommen worden.

Für die **Bewertung der Wirkung des EU-Emissionshandels in Deutschland** wurde der CO₂-Preis in der Modellierung auf 0 €/t CO₂ variiert, unter der Annahme, dass es im OMS keinen Emissionshandel gegeben hätte.⁹⁴ Damit ergibt sich je nach Szenariojahr eine Emissionsminderung zwischen 2 und 10 Mt CO₂. Diese Emissionsminderungen ergeben sich aus dem veränderten Kraftwerksdispatch.⁹⁵ 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 CO₂ 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.⁹⁶ Insgesamt wurden durch diesen Modelllauf Emissionsminderungseffekte von 2 Mt CO₂ ermittelt. Eine Emissionsminderung von bis zu 4 Mt CO₂ könnte sich einstellen, wenn im größeren Umfang Emissionen außerhalb des Stromsektors vermieden werden (z.B. durch die Erschließung neuer Wärmesenken).⁹⁷ Wichtig ist

⁹⁴ Im Jahr 2020 wird durch den EU-Emissionshandel eine größere Emissionsminderung erbracht als im Jahr 2025, weil sich im Jahr 2020 im Modelllauf ohne CO₂-Preis die Braunkohlekraftwerke in der Merit-Order vor den Kernkraftwerken einsortieren. In den späteren Stützjahren tritt dieser Effekt nicht mehr auf (Ausstieg aus der Kernenergie).

⁹⁵ Wenn zusätzlich noch die Auswirkungen des ETS auf Anlagenstilllegungen modelliert worden wäre, ergäben sich höhere Minderungen.

⁹⁶ 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 CO₂ ermittelt werden. Wegen der Vergleichbarkeit wird auch im Projektionsbericht 2017 ein bis auf die Erdgas-KWK unveränderter Kraftwerkspark unterstellt.

⁹⁷ 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 CO₂/MWh führt zu einer zusätzlichen Emissionsminderung von 2 Mio. t CO₂.

aber, dass die geringe Minderung von 2 bis 4 Mt CO₂ 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 CO₂, 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 der Maßnahmenbewertung gegenüber dem MMS steigen. Die Einführung einer Braunkohle-Sicherheitsbereitschaft trägt im Jahr 2020 zu einer Einsparung von 10 Mt CO₂ 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 CO₂ bis 2020 erforderlich werden könnten.

Die Ergebnisse der Maßnahmenbewertung sind in Tabelle 3-91 dargestellt.

Tabelle 3-91: CO₂-Minderungswirkung der einzelnen Maßnahmen im Stromsektor im MMS

Direkte Emissionsminderung [Mt CO ₂ e]	Instrumententyp	Wirkungsbeginn	2020	2025	2030	2035
Emissionshandel	E	2005	7	2	9	10
Braunkohle-Sicherheitsreserve	V	2016	10			
KWK-Förderung	E	2015	2-4			
Summe der Einzelmaßnahmen			19-21	2	9	10
<i>Nachrichtlich: Einführung des EEG (Berechnungen basierend auf (BMUB 2016a))</i>	E	2000	147	176	200	202
Summe der Einzelmaßnahmen inklusive EEG			166-168	178	209	212

Quelle: Eigene Berechnungen des Öko-Instituts
 Erklärung der der Instrumententypen: Tabelle A-5-1 im Anhang A1

3.1.7.5 Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios

Abbildung 3-18 und Tabelle 3-92 stellen die Entwicklung der Netto-Stromerzeugung⁹⁸ dar sowie Tabelle 3-93 die Nettoleistung für das MWMS bis 2035.

Die Stromnachfrage nimmt im Szenariohorizont deutlich ab (Tabelle 3-85). 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 3-93). 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 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.

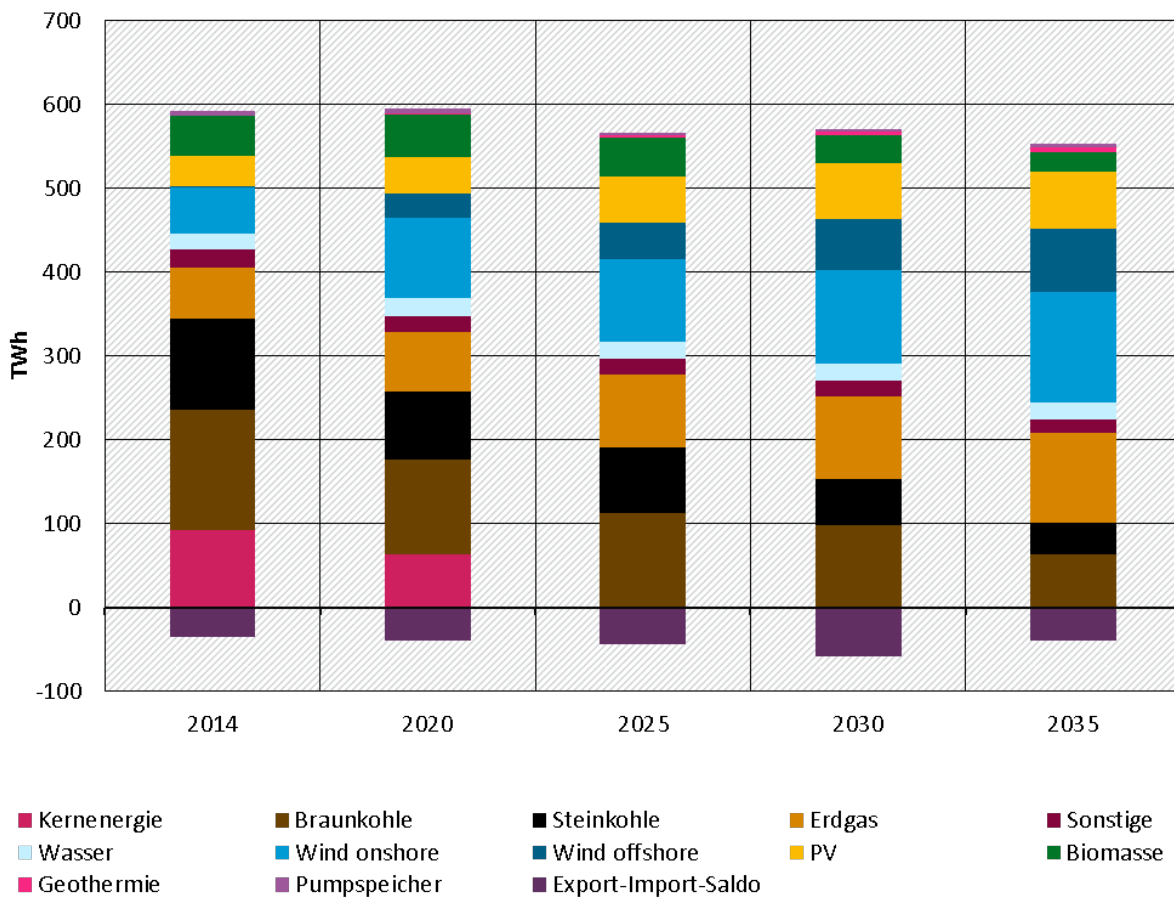
Im MWMS reduziert sich die installierte Leistung der Steinkohlekraftwerke deutlich auf noch 13 GW im Jahr 2030 und 9,3 GW im Jahr 2035. Hier wirken zwei Faktoren: zum einen reduziert sich die installierte Leistung der Steinkohlekraftwerke direkt, weil ältere Steinkohle-KWK-Anlagen durch neuere Erdgas-KWK-Anlagen ersetzt werden. Zum anderen sinken die Strompreise im MWMS durch den Zubau 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.

⁹⁸ Die Bruttostromerzeugung ist in Anhang A3 enthalten.

Abbildung 3-18: Nettostromerzeugung im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario, 2014-2035⁹⁹



Quelle: Berechnungen Öko-Institut

Tabelle 3-92: Nettostromerzeugung im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario, 2014-2035

Energieträger	2014	2020	2025	2030	2035
	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

⁹⁹ Um die Übersichtlichkeit und Lesbarkeit der Grafik zu gewährleisten, werden die sonstigen Energieträger (Öl, Gichtgas, Kokereigas, Müll fossil und sonstige Gase) in der Abbildung unter *Sonstige* zusammengefasst, sowie feste, flüssige und gasförmige Biomasse und der biogene Anteil des Mülls unter *Biomasse*. Die Detailzahlen sind in Tabelle 3-92 enthalten.

Energieträger	2014	2020	2025	2030	2035
	TWh				
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
Summe	592	595	566	570	553
Export-Import-Saldo (Import positiv)	-36	-40	-44	-58	-39
Summe abzüglich Exporte	556	555	522	512	514

Quelle: Daten für 2014 basierend auf (AGEB 2016), (StBA 2014a), Modellrechnungen Öko-Institut

Tabelle 3-93: 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
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
Summe	192	202	210	223	224

Quelle: Berechnungen Öko-Institut, Daten für 2014 basierend auf (BNetzA 2016), (BNetzA 2014), (DIW 2014), (NEP 2015), (Öko-Institut 2014a), (UBA 2014b), (Deutscher Bundestag 2016b), (Deutscher Bundestag 2016c)

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.

3.1.7.5.1 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 CO₂e (2014) auf 200 Mt CO₂e im Jahr 2035 (Tabelle 3-94). Dabei entfallen ca. 70 Mt CO₂e der Minderung auf den Zeitraum bis 2020 und weitere ca. 93 Mt CO₂e 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 CO₂-Emissionen dominieren mit knapp 99 % der Gesamtemissionen des Stromsektors deutlich.

Tabelle 3-94: THG-Emissionen des Stromsektors nach Subsektoren im MWMS, 1990–2035

	1990	2005	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e						
CO ₂ -Emissionen	455,5	382,8	358,9	287,8	287,4	251,5	197,0
<i>Öffentliche Kraftwerke^a</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 ₄ -Emissionen	0,3	1,0	2,4	3,6	3,5	2,8	1,9
N ₂ O-Emissionen	3,5	2,8	2,8	2,4	2,4	2,1	1,6
Emissionen der Kraftwerke	459,3	386,5	364,2	293,8	293,2	256,3	200,5
<i>ggü. 2005</i>	18,8 %	0,0 %	-5,8 %	-24,0 %	-24,1 %	-33,7 %	-48,1 %
<i>ggü. 1990</i>	0,0 %	-15,8 %	-20,7 %	-36,0 %	-36,2 %	-44,2 %	-56,3 %

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

Anmerkung: ^a Inklusive CO₂-Emissionen aus der Rauchgasentschwefelung (REA)

Tabelle 3-95 stellt die gesamten THG-Emissionen der Kraftwerke (CO₂, CH₄ und N₂O) in CO₂-Äquivalenten (CO₂e) dar, ebenso wie die Emissionen aus der Rauchgasentschwefelung (REA). Für das Jahr 2014 betragen die THG-Emissionen der Kraftwerke 364 Mt CO₂e. Die Braunkohlekraftwerke tragen mit 168 Mt CO₂e den größten Emissionsanteil bei, gefolgt von den Steinkohlekraftwerken mit Emissionen in Höhe von 128 Mt CO₂e. Die Emissionen der Erdgas-Kraftwerke (inkl. übrige fossile Gase) liegen bei 38,5 Mt CO₂e. 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_{2e} auf 127 Mio. CO_{2e}. 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_{2e} 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_{2e}.

Insgesamt sinken die Emissionen der Kraftwerke auf 294 Mt CO_{2e} im Jahr 2020. Bis zum Jahr 2030 gehen die Emissionen der Kraftwerke auf 256 Mt CO_{2e} 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 3-93).

Ein ähnlicher Rückgang ist bei der Braunkohle zu beobachten, wo die Emissionen bis 2030 um 36 % gegenüber 2014 auf ca. 108 Mt CO_{2e} 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_{2e}). Der Rückgang im Zeitverlauf entspricht dem Rückgang der Kohleverstromung.

Tabelle 3-95: THG-Emissionen der Kraftwerke nach Brennstoffen im MWMS, 1990–2035

Brennstoff	1990	2005	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO _{2e}						
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
Summe	458,7	385,4	363,2	293,0	292,5	255,7	200,1
REA	0,6	1,1	1,0	0,7	0,7	0,6	0,4
Summe mit REA	459,3	386,5	364,2	293,8	293,2	256,3	200,5

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

3.1.7.5.2 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 eine weitere 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 3-96 beziffert die betreffenden Veränderungen der Maßnahmentreiber.

Tabelle 3-96: 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
Summe der Maßnahmentreiber	6	33	49	70

Quelle: Modellrechnungen Öko-Institut

Tabelle 3-97 zeigt die CO₂-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 CO₂ 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 CO₂.

Durch die bei der **KWK** verfolgte Substitutionsstrategie von älteren ineffizienten Kohle-KWK-Anlagen durch moderne, flexible Erdgas-KWK-Anlagen findet die hauptsächliche Emissionsminderung inner-

halb des Stromsektors statt. Die Neuanlagen verfügen über deutlich niedrigere spezifische Emissionen als die ersetzten 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 CO₂.

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 CO₂-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 CO₂ und 12 Mt CO₂ im Jahr 2035.

Tabelle 3-97: CO₂-Minderungswirkung der einzelnen Maßnahmen im Stromsektor im MWMS gegenüber dem MMS

Direkte Emissionsminderung [Mt CO ₂]	Instrumententyp	2020	2025	2030	2035
Stromeinsparungen durch Maßnahmen in anderen Sektoren	R/F/E/I/V	3	5	8	8
Weiterentwicklung des EEG	E		2	5	12
KWK-Förderung	E/R	6	16	19	21
Summe der Einzelmaßnahmen		10	22	32	41

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 Ergebnisse der Projektion des Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenarios

Abbildung 3-18 und Tabelle 3-98 stellen die Entwicklung der Netto-Stromerzeugung¹⁰⁰ dar sowie Tabelle 3-99 die Nettoleistung für das MEMS bis 2035.

Die Stromnachfrage nimmt im Szenariohorizont zuerst deutlich ab, steigt dann jedoch aufgrund der verstärkten Nachfrage nach Strom u.a. aus dem Verkehr bis 2035 wieder an (Tabelle 3-86). Durch den zum Teil sehr signifikanten Stromexport schwankt die Netto-Stromerzeugung zwischen 2020 auf dem Niveau des Jahres 2014 und nimmt danach um gut 50 TWh bis 2035 ab.

Die Kernenergie-Stromerzeugung im MEMS ist zum MMS unverändert.

¹⁰⁰ Die Bruttostromerzeugung ist in Tabelle A-5-8 enthalten.

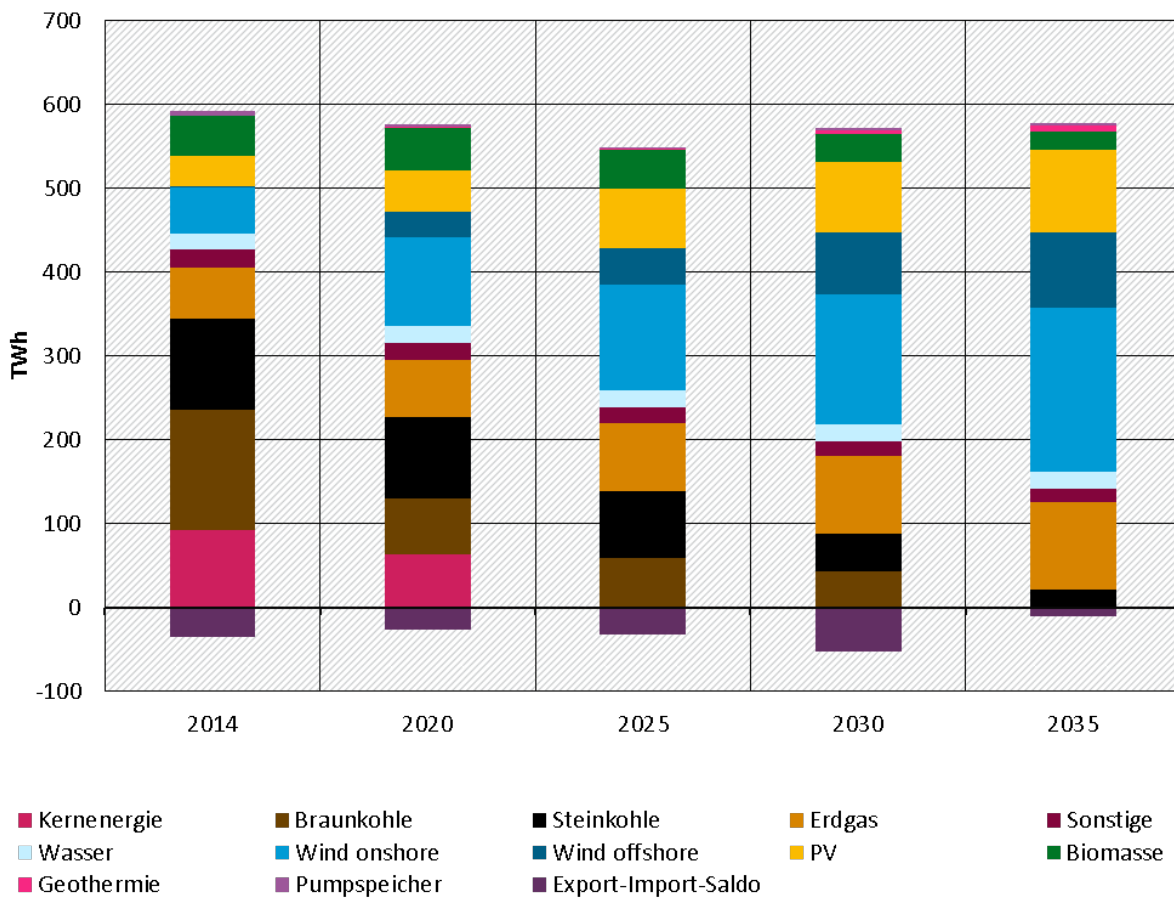
Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien nimmt im Szenario deutlich zu. Der Anstieg beträgt ca. 10 TWh pro Jahr zwischen 2020 und 2025 und 12 TWh pro Jahr zwischen 2025 und 2035. Im Jahr 2030 beträgt die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien 370 TWh und ist deutlich höher als im MMS (289 TWh im Jahr 2030) und MWMS (299 TWh im Jahr 2030). Es wird ein EE-Anteil von 69% des Bruttostromverbrauchs erreicht. Die Stromerzeugung aus Biomasse ist im Vergleich zum MMS bis zum Jahr 2030 unverändert (Tabelle 3-93).

Die installierte Leistung der Erdgas-Kraftwerke im MEMS entspricht dem MWMS. Insgesamt sinkt die Erdgas-Verstromung auf 93 TWh im Jahr 2030 (demgegenüber betrug die Erdgas-Verstromung im MWMS 99 TWh).

Durch die Reduktion der Vollbenutzungstunden und der installierten Leistung der Kohlekraftwerke sinkt auch die Stromerzeugung aus Braun- und Steinkohle. Damit einher geht ein deutlicher Rückgang der Braunkohleverstromung auf von 43 TWh im Jahr 2030. Auch die Steinkohle-Verstromung nimmt im Zeitverlauf deutlich ab und liegt im Jahr 2030 bei 44 TWh, Die Summe der Stromerzeugung aus Braun- und Steinkohle betrug im Jahr 2014 ungefähr 250 TWh und war damit um den Faktor 4 größer als die Erdgas-Stromerzeugung (60 TWh). Im Jahr 2030 entspricht die Summe der Stromerzeugung aus Braun- und Steinkohle mit ungefähr 90 TWh etwa der Erdgas-Stromerzeugung.

Die Stromerzeugung aus sonstigen Brennstoffen (Öl, Hochofengas usw.) zeigt im Szenariohorizont keine signifikante Veränderung zum MMS und MWMS.

Abbildung 3-19: Nettostromerzeugung im Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario, 2014-2035¹⁰¹



Quelle: Berechnungen Öko-Institut

Tabelle 3-98: Nettostromerzeugung im Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario, 2014-2035

Energieträger	2014	2020	2025	2030	2035
	TWh				
Kernenergie	92	63	0	0	0
Braunkohle	144	68	59	43	0
Steinkohle	109	96	79	44	21
Erdgas	60	69	81	93	104
Sonstige	22	20	19	18	16
Öl	4	1	1	1	0
Gichtgas	7	7	7	7	6
Kokereigas	2	2	2	2	2
Müll fossil	7	8	7	7	7
Sonstige	1	1	1	1	1
Erneuerbare	160	258	310	371	433

¹⁰¹ Um die Übersichtlichkeit und Lesbarkeit der Grafik zu gewährleisten, werden die sonstigen Energieträger (Öl, Gichtgas, Kokereigas, Müll fossil und sonstige Gase) in der Abbildung unter *Sonstige* zusammengefasst, sowie feste, flüssige und gasförmige Biomasse und der biogene Anteil des Mülls unter *Biomasse*. Die Detailzahlen sind in Tabelle 3-98 enthalten.

Energieträger	2014	2020	2025	2030	2035
	TWh				
Wasser	19	21	21	20	20
Wind	57	136	169	228	286
Wind onshore	56	106	126	155	196
Wind offshore	1	30	43	73	91
PV	36	49	71	85	98
Biogas	30	35	32	22	13
Biomasse	11	12	11	8	6
Geothermie	0	1	3	4	6
Müll biogen	6	4	4	4	3
Pumpspeicher	6	3	1	3	4
Summe	592	576	549	572	578
Export-Import-Saldo (Import positiv)	-36	-26	-32	-52	-11
Summe abzüglich Exporte	556	549	517	520	568

Quelle: Daten für 2014 basierend auf (AGEB 2016), (StBA 2014a), Modellrechnungen Öko-Institut

Tabelle 3-99: Installierte Nettoleistungen des Stromsektors im Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (ohne Kraftwerke in Kaltreserve), 2014-2035

Energieträger	2014	2020	2025	2030	2035
	GW				
Kernenergie	12	8	0	0	0
Braunkohle	21	13	13	9	0
Steinkohle	27	22	17	10	5
Erdgas	26	18	20	22	22
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	179	257	342
Wasser	4	4	4	4	4
Wind	39	60	95	151	223
Wind onshore	8	52	77	119	172
Wind offshore	1	7	17,8	32	51
PV	38	51	71	95	109
Biogas	4	6	6	5	3
Biomasse	3	3	2	2	1
Geothermie	0,0	0,2	0,6	1,2	2,1
Pumpspeicher	9	9	9	9	9
Summe	192	199	243	313	384

Quelle: Berechnungen Öko-Institut, Daten für 2014 basierend auf (BNetzA 2016), (BNetzA 2014), (DIW 2014), (NEP 2015), (Öko-Institut 2014a), (UBA 2014b), (Deutscher Bundestag 2016b), (Deutscher Bundestag 2016c)

Bezogen auf den Bruttostromverbrauch nimmt der Anteil der erneuerbaren Energien von 27,3 % im Jahr 2014 auf 69 % im Jahr 2030 zu, wobei auch hier der größte Zuwachs zwischen 2014 und 2020 erfolgt (Tabelle A-5-8).

3.1.7.6.1 Emissionsentwicklung

Die THG-Emissionen des Stromsektors (einschließlich der Emissionen von KWK-Anlagen für Strom- und Wärmeerzeugung) sinken im Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario von rund 364 Mt CO₂e (2014) auf 116 Mt CO₂e im Jahr 2035 (Tabelle 3-94). Dabei entfallen ca. 110 Mt CO₂e der Minderung auf den Zeitraum bis 2020 und weitere ca. 139 Mt CO₂e auf den Zeitraum bis 2035. Zwischen 1990 und 2035 gehen die Emissionen des Stromsektors um 75 % zurück. Im Vergleich zu 2005 ist dies ein Rückgang um 70 %. Die CO₂-Emissionen dominieren mit 98 % bis 99 % der Gesamtemissionen des Stromsektors deutlich.

Tabelle 3-100: THG-Emissionen des Stromsektors nach Subsektoren im MEMS, 1990–2035

	1990	2005	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e						
CO ₂ -Emissionen	455,5	382,8	358,9	248,7	225,5	178,5	113,0
<i>Öffentliche Kraftwerke^a</i>	323,7	322,8	303,4	194,9	171,0	126,6	66,4
<i>Raffineriekraftwerke</i>	9,6	5,7	4,7	2,9	2,7	2,2	1,6
<i>Übrige KW der Energiewirtschaft</i>	53,7	13,5	4,0	2,0	1,8	1,4	0,4
<i>Industriekraftwerke</i>	68,5	40,8	46,8	49,0	50,0	48,2	44,7
CH ₄ -Emissionen	0,3	1,0	2,4	3,6	3,4	2,7	1,9
N ₂ O-Emissionen	3,5	2,8	2,8	1,9	1,8	1,4	0,8
Emissionen der Kraftwerke	459,3	386,5	364,2	254,3	230,7	182,6	115,7
<i>ggü. 2005</i>	18,8%	0,0%	-5,8%	-34,2%	-40,3%	-52,8%	-70,1%
<i>ggü. 1990</i>	0,0%	-15,8%	-20,7%	-44,6%	-49,8%	-60,3%	-74,8%

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

Anmerkung: ^a Inklusive CO₂-Emissionen aus der Rauchgasentschwefelung (REA)

Tabelle 3-101 stellt die gesamten THG-Emissionen der Kraftwerke (CO₂, CH₄ und N₂O) in CO₂-Äquivalenten (CO₂e) dar, ebenso wie die Emissionen aus der Rauchgasentschwefelung (REA). Für das Jahr 2014 betragen die THG-Emissionen der Kraftwerke 364 Mt CO₂e. Die Braunkohlekraftwerke tragen mit 168 Mt CO₂e den größten Emissionsanteil bei, gefolgt von den Steinkohlekraftwerken mit Emissionen in Höhe von 128 Mt CO₂e. Die Emissionen der Erdgas-Kraftwerke (inkl. übrige fossile Gase) liegen bei 38,5 Mt CO₂e. 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 93 Mt CO₂e auf 75 Mio. CO₂e. Die zusätzlichen Emissionsreduktionen in den Braunkohlekraftwerken bis 2020 gegenüber den anderen beiden Szenarien sind durch die Begrenzung der Volllaststunden und das Kapazitätsmanagement zu erklären.

Die Emissionen der Steinkohlekraftwerke (inkl. Kuppelgase) gehen bis zum Jahr 2020 um ca. 19 Mt CO₂e gegenüber dem Niveau von 2014 zurück – und somit weniger stark als im MWMS. Hier ist durch die im MEMS eingeführte Volllaststundenbegrenzung eine Verschiebung von Braunkohle hin zur weniger emissionsintensiven Steinkohle zu beobachten.

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 57 Mt CO₂e.

Insgesamt sinken die Emissionen der Kraftwerke auf 254 Mt CO₂e im Jahr 2020. Bis zum Jahr 2030 gehen die Emissionen der Kraftwerke auf 183 Mt CO₂e zurück. Den größten Anteil an der Emissionsminderung bis zum Jahr 2030 leisten die Braunkohlekraftwerke, deren Emissionen gegenüber 2014 um 72 % zurückgehen. Dies ist unter anderem auf den Rückgang der Braunkohleleistung um 12 GW zwischen 2014 und 2030 zurückzuführen, sodass die installierte Leistung der Braunkohlekraftwerke im Jahr 2030 bei nur ca. 42 % der Leistung des Jahres 2014 liegt (Tabelle 3-99). Bis zum Jahr 2035 werden alle Braunkohlekraftwerke stillgelegt, folglich sinken die Emissionen der Braunkohleverstromung auf Null.

Ein etwas schwächerer Rückgang ist bei der Steinkohle zu beobachten, wo die Emissionen bis 2030 um 56 % gegenüber 2014 auf ca. 56 Mt CO₂e sinken. Die installierte Leistung der Steinkohlekraftwerke sinkt im gleichen Zeitraum um 17 GW.

Darüber hinaus kommt es zu einem kleinen Emissionsbeitrag durch die Rauchgasreinigung (ca. 0,5 bis 1 Mt CO₂e). Der Rückgang im Zeitverlauf entspricht dem Rückgang der Kohleverstromung.

Tabelle 3-101: THG-Emissionen des Stromsektors nach Brennstoffen im MEMS, 1990–2035

Brennstoff	1990	2005	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e						
Braunkohlen	246,8	169,6	167,7	75,0	65,2	47,4	0,0
Steinkohlen	152,1	142,7	127,6	108,7	90,0	56,1	35,2
Mineralöl	19,4	12,5	7,4	2,1	2,0	1,5	0,6
Fossile Gase	33,8	49,7	38,5	45,6	51,8	57,3	61,6
Müll	6,6	10,4	19,8	19,0	18,1	17,8	17,0
Biomasse	0,1	0,5	2,2	3,4	3,1	2,2	1,3
Summe	458,7	385,4	363,2	253,8	230,3	182,3	115,7
REA	0,6	1,1	1,0	0,5	0,4	0,3	0,0
Summe mit REA	459,3	386,5	364,2	254,3	230,7	182,6	115,7

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

3.1.7.6.2 Bewertung der Einzelmaßnahmen

Das MEMS zeichnet sich im Stromsektor durch die folgenden vier Maßnahmen bzw. Maßnahmenbündel aus:

- Verstärkter Ausbau der erneuerbaren Energien
- Weiterentwicklung des EU-Emissionshandels,
- Förderung emissionsarmer KWK and erneuerbarer Wärme,
- Dekarbonisierung der Stromerzeugung.

Tabelle 3-102 zeigt die CO₂-Minderungswirkungen aller Maßnahmen im Überblick. In der letzten Zeile werden die Gesamteffekte der Maßnahmen ausgewiesen, durch die sich das MEMS vom MMS unterscheidet. In Summe führen die Maßnahmen im MEMS zu Einsparungen gegenüber dem MMS von 106 Mt CO₂ 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. Da die Maßnahmenbewertung nur mit dem Dispatchmodell durchgeführt wurde, werden Kraftwerksstilllegungen von Kondensationskraftwerken, die eventuell durch einzelne Maßnahmen getriggert würden, hier nicht berücksichtigt. Durch die endogene Bestimmung des Stromaustauschs 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.

Die Maßnahmen zur **Stromeinsparung** (siehe hierzu auch die jeweiligen Abschnitte in den Kapiteln der Endverbrauchssektoren) erreichen im Jahr 2030 eine Emissionsminderung von 8 Mt CO₂.

Der gegenüber dem MMS deutlich ambitioniertere Ausbau der **erneuerbaren Energien** führt im Jahr 2030 zu einer Emissionsreduktion von 25 Mt CO₂ und 27 Mt CO₂ im Jahr 2035.

Im Bereich der **KWK und erneuerbaren Wärmebereitstellung** führt die Substitution von ineffizienten kohlebasierten Altkraftwerken durch moderne erdgasbetriebene KWK-Anlagen sowie erneuerbare Wärmetechnologien zu einer Emissionsminderung von 9 Mt CO₂ in 2030. Im Jahr 2020 führt der Ausbau der KWK anfänglich zu stärkeren Exporten und führt dadurch sogar zu leichten Mehremissionen. Dieser Effekt dreht sich aber mit dem weiteren Ausbau von solar- und tiefengeothermischen Anlagen, Wärmepumpen, Wärmespeichern sowie Power-to-Heat schon ab 2025 um.

Dieser Wert bezieht sich auf die komplette Fernwärmeerzeugung und beinhaltet die Bewertung der Maßnahme zur erneuerbaren Wärmeerzeugung in der übrigen Energiewirtschaft (siehe auch Abschnitt 3.1.8.4.1). Fernwärme wird sowohl in Kraft-Wärme-Kopplung als auch ungekoppelt erzeugt. Gekoppelte und ungekoppelte Wärmeerzeugung sind dabei nicht unabhängig voneinander, sondern stehen in Konkurrenz zueinander und beeinflussen sich gegenseitig. Daher eine getrennte Bewertung der Maßnahmen KWK und erneuerbare Wärme nicht sinnvoll. Stattdessen werden diese beiden Maßnahmen zusammen bewertet.

Die Reform des **ETS** und die sich daraus ergebenden leicht höheren CO₂-Preise im Vergleich zum MMS und MWMS führen ohne weitere Maßnahmen nicht zu nennenswerten Emissionsminderungen, da die leicht geringere Stromerzeugung aus Kohle wird durch einen verstärkten Einsatz von Erdgas ausgeglichen wird.

Die **Dekarbonisierung der Stromerzeugung** durch Kapazitätsmanagement und Volllaststundenbegrenzung hat den mit Abstand größten Anteil an der CO₂-Minderung im MEMS. Bis 2030 werden hier 63 Mt CO₂ weniger emittiert als im MMS. In 2035 kommt es zu einer Emissionsreduktion von 82 Mt CO₂.

Tabelle 3-102: CO₂-Minderungswirkung der einzelnen Maßnahmen in der Energiewirtschaft im MEMS gegenüber dem MMS

Direkte Emissionsminderung [Mt CO ₂]	Instrumententyp	2020	2025	2030	2035
--	-----------------	------	------	------	------

Stromeinsparungen durch Maßnahmen in anderen Sektoren	R/F/E/I/V	2	3	8	7
Weiterentwicklung des EEG	E	7	14	25	27
KWK und erneuerbare Wärme ¹⁰²	E/R	-1	7	9	10
Weiterentwicklung des ETS	E	0,4	-1	-	-
Dekarbonisierung der Stromerzeugung	R/E	40	62	63	82
Summe der Einzelmaßnahmen		49	85	106	126

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts, rundungsbedingte Differenzen

Anmerkung: Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A-5-1 im Anhang A1

3.1.7.7 Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen in den Szenarien

Im MMS sinken die THG-Emissionen des Stromsektors auf etwa 301 Mt CO_{2e} im Jahr 2020. Im Vergleich zum Jahr 2014 als die Emissionen noch 364 Mt CO_{2e} betragen, wird somit eine deutliche Emissionsminderung erreicht. Im MMS steigen die Emissionen in Folge des Kernenergieausstiegs zwischen 2020 und 2025 leicht an und erreichen im Jahr 2030 mit 286 Mt CO_{2e} aber wieder ein Niveau, das unter dem des Jahres 2020 liegt.

Im Vergleich zum MMS werden im MWMS bis 2020 leichte und ab 2025 substantielle Emissionsminderungen erreicht. Im Jahr 2030 betragen die THG-Emissionen im MWMS etwa 256 Mt CO_{2e} und sind damit gut 30 Mt CO_{2e} niedriger als im MMS. Hintergrund sind die im MWMS unterstellten Maßnahmen wie Stromeinsparungen, Weiterentwicklung der KWK-Förderung und der etwas höhere Ausbau der erneuerbaren Energien.

Vergleichbarkeit der MWMS-Ergebnisse zu denen des Projektionsberichts 2015

Im MWMS des Projektionsberichts 2015 betragen die THG-Emissionen des Stromsektors im Jahr 2030 nur 226 Mt CO_{2e}. Das um 30 Mt CO_{2e} höhere Emissionsniveau im MWMS des Projektionsberichts 2017 ist insbesondere durch den geringeren Ausbau der erneuerbaren Energien zu erklären. Im MWMS des Projektionsberichts 2017 und damit des hier vorliegenden Berichts Politikszenerarien VIII ist die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien um 26 TWh geringer als noch im MWMS des Projektionsberichts 2015 (vergleiche Tabelle 3-21 des Projektionsberichts 2015).

Das MEMS unterscheidet sich bereits im Jahr 2020 sehr deutlich vom MMS und MWMS durch die Implementierung der Volllaststundenbegrenzung für ältere Kraftwerke als kurzfristig wirksame Maßnahme. Zwischen 2014 und 2020 werden die Emissionen der Kraftwerke um etwa 110 Mt CO_{2e} reduziert und damit um das 1,6- bzw. 1,7fache des MWMS bzw. MMS im gleichen Zeitraum. Im folgenden Zeitraum von 2020 bis 2025 können im MEMS – anderes als in den anderen beiden Szenarien – die Treibhausgasemissionen der Kraftwerke trotz der im gleichen Zeitraum stattfindenden Endphase des Kernenergieausstiegs deutlich reduziert werden. Durch die Einrichtung eines Kapazitätsmanagements sowie einen deutlich stärkeren Ausbau erneuerbarer Energien wird schließlich im Jahr 2030 ein Emissionsniveau von 183 Mt CO_{2e} erreicht, das nur noch halb so hoch wie im Jahr 2014 und etwa 60 % niedriger als 1990 liegt. Durch den sich ergebenden Ausstieg aus der Braunkohleverstromung, die weitere Reduktion der Steinkohlekapazitäten und weiter forciertem Erneuerbaren-Ausbau sinken auch zwischen 2030 und 2035 die Emissionen der Kraftwerke noch einmal sehr deutlich, so dass diese am Ende des Betrachtungszeitraums etwa 75 % niedriger liegen als 1990.

¹⁰² Inklusive Minderungswirkung der ungekoppelten Fernwärme aus der sonstigen Energiewirtschaft (siehe auch Abschnitt 3.1.8.4.1)

CO₂ macht in allen Jahren 98 % oder mehr der THG-Emissionen aus. Im Vergleich dazu sind die Anteile von CH₄ und N₂O gering. Daher ist die relative Emissionsänderung von CO₂ mit einem Rückgang bis 2035 um 48 % (MMS) bzw. 57 % (MWMS) bzw. 75 % (MEMS) gegenüber 1990 sehr ähnlich zur Entwicklung der gesamten THG-Emissionen der Stromerzeugung. Die N₂O-Emissionen haben eine ähnliche Entwicklung, hier liegen die Emissionen 2035 um 49 % bzw. 58 % bzw. 77 % niedriger als 1990. Ganz anders hingegen entwickeln sich CH₄-Emissionen: Diese haben sich zwischen 1990 und 2014 vervielfacht und werden noch bis etwa 2020 weiter ansteigen, um anschließend langsam abzusinken. Größte Quelle von CH₄-Emissionen sind Biogasanlagen, gefolgt von Erdgaskraftwerken.

Tabelle 3-103: Entwicklung der THG-Emissionen der Kraftwerke zwischen 1990 und 2035 im Vergleich der Szenarien

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
CO₂-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
MEMS					248,7	225,5	178,5	113,0
CH₄-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
MEMS					3,6	3,4	2,7	1,9
N₂O-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
MEMS					1,9	1,8	1,4	0,8
Summe CO₂+CH₄+N₂O								
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
MEMS					254,3	230,7	182,6	115,7
Summe CO₂+CH₄+N₂O	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
MEMS					-44,6	-49,8	-60,3	-74,8
Summe CO₂+CH₄+N₂O	Veränderung ab 2005 in %							
Entwicklung 1990 – 2014			-4,3	-5,8				

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
MMS					-22,1	-18,8	-25,9	-38,1
MWMS					-24,0	-24,1	-33,7	-48,1
MEMS					-34,2	-40,3	-52,8	-70,1

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

Der mittlere Emissionsfaktor der Stromscheibe der Kraftwerke unterscheidet sich im Zeitverlauf zwischen den drei Szenarien sehr deutlich, wie Tabelle 3-104 zeigt. In allen drei Szenarien sinkt er zwischen 2014 und 2020 zunächst sehr deutlich. Im MMS und MWMS steigt er zwischen 2020 und 2025 aber durch den Ausstieg aus der Kernenergie zunächst wieder an um dann anschließend wieder zu sinken. Im Jahr 2030 wird im MMS lediglich wieder das Niveau des Jahres 2020 erreicht. Deutlich schneller und auch während der Endphase des Kernenergieausstiegs sinkend verbessert sich der Emissionsfaktor im MEMS. Dort wird bereits 2020 ein niedrigerer Emissionsfaktor erreicht als 2030 im MWMS. Im Jahr 2035, dem Endpunkt der Modellierung, ist der Emissionsfaktor der Stromerzeugung im MMS fast zweieinhalbfach und im MWMS mehr als doppelt so hoch wie im MEMS – trotz im MEMS deutlich höher Stromnachfrage.

Tabelle 3-104: Mittlere CO₂-Emissionsfaktoren der Stromerzeugung in g CO₂/kWh

	2014	2020	2025	2030	2035
MMS	602	444	487	442	346
MWMS	602	440	465	408	299
MEMS	602	388	368	275	141

Quelle: Modellrechnungen Öko-Institut

Anmerkung: Berechnet in Anlehnung an die Methodik in UBA (2017c) als Quotient aus CO₂-Emissionen der Stromscheibe der Kraftwerke (ohne Rauchgasentschwefelung) und Stromverbrauch. Der Stromverbrauch ist dabei berechnet als Bruttostromerzeugung abzüglich Eigenstromverbrauch, Leitungsverluste und Pumpstromverbrauch.

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 Verursacherebereiche berücksichtigt werden:

- a) Heizwerke der Fernwärmeversorgung [Teil von CRF 1.A.1.a],
- b) (Mineralöl-) Raffinerien [Teil von CRF 1.A.1.b],
- c) übrige Anlagen des Umwandlungssektors (Braunkohlengruben, Steinkohlenzechen, Brikettfabriken, Kokereien, andere Umwandlungs- und Veredelungsanlagen, Eigenverbrauch von Biogasanlagen) [Teil von CRF 1.A.1.c],

d) Erdgasverdichterstationen im Pipelinenetz [CRF 1.A.3.e]¹⁰³.

3.1.8.1.1 Heizwerke der Fernwärmeversorgung

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 im MMS und MWMS auf dem Niveau des Jahres 2014 fortgeschrieben.

Im Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario kommen zusätzlich alternative Technologien zur emissionsarmen Fernwärmebereitstellung zum Einsatz. Es wird ein Ausbau von neuen Einspeisern in Fernwärmenetze unterstellt, zum Einsatz kommen solarthermische Anlagen, Großwärmepumpen und Tiefengeothermieanlagen sowie Fernwärmespeicher. Tabelle 3-116 Tabelle 3-111 stellt die Annahmen zum Ausbau dar:

Tabelle 3-105: Ausbau im Bereich der netzgebunden Wärme im Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario

	Einheit	2020	2025	2030	2035
Solarthermie					
Installierte thermische Leistung	GW	0,4	0,9	1,8	4,0
Tiefengeothermie					
Wärmeeinspeisung	PJ	3,3	5,4	7,5	9,6
Großwärmepumpen					
Einspeisung	PJ	1,9	3,8	7,6	15,3
Stromverbrauch	TWh	0,2	0,4	0,8	1,7

Quelle: Annahmen Öko-Institut, basierend u.a. auf Beuth HS und IFEU (2017)

Die Ausbaudaten in Tabelle 3-105 wurden aus in Beuth HS und IFEU (2017) angegebenen technischen Potentialen und eigenen Überlegungen zu möglichen Ausbaudynamiken abgeleitet.

3.1.8.1.2 Raffinerien, Erdgasverdichterstationen und übrige Anlagen des Umwandlungssektors

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.

¹⁰³ 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.

Für die Raffinerien bedeutet dies, dass das Modell unterstellt, dass deren Aktivität (also die Energieverbräuche und damit verbundene Treibhausgasemissionen) mit rückläufiger Mineralölnachfrage ebenfalls zurückgeht. Das Modell geht also davon aus, dass es durch verminderte Mineralölfrage keinen zusätzlichen Export von Mineralölprodukten ins Ausland kommt, um die Auslastung der Raffinerien zu steigern.

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 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 Biogasanlagen¹⁰⁴ 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.

Tabelle 3-106: Energieeinsatz in der übrigen Energiewirtschaft (ohne Kraftwerke) im MMS 2014-2035

Sektor	2014	2020	2025	2030	2035
	PJ				
Heizwerke					
Braunkohlen	3	6	5	5	6
Steinkohlen	14	28	28	29	30

¹⁰⁴ Seit dem Berichtsjahr 2016 ist der Eigenverbrauch von Biogasanlagen in der Quellgruppe 1.A.1.c *Herstellung von festen Brennstoffen und sonstige Energieerzeuger* (= Übriger Umwandlungssektor) enthalten UBA (2016a, 2016b).

Sektor	2014	2020	2025	2030	2035
	PJ				
Öl	5	11	10	5	2
Erdgas	93	115	143	164	216
Gichtgas	0	0	0	0	0
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
Wärmepumpen	0	0	0	0	0
Geothermie	1	1	1	1	1
Solarthermie	0	0	0	0	0
Elektroheizer (Tauchsieder)	0	0	0	0	0
Heizwerke gesamt	181	225	251	267	319
<i>Änderung ggü. 2014</i>	<i>0,0 %</i>	<i>24,0 %</i>	<i>38,6 %</i>	<i>47,7 %</i>	<i>76,2 %</i>
Raffinerien					
Öl	31	29	26	25	24
Raffineriegas	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
Raffinerien gesamt	230	213	197	187	180
<i>Änderung ggü. 2014</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-7,2 %</i>	<i>-14,1 %</i>	<i>-18,4 %</i>	<i>-21,6 %</i>
Übriger Umwandlungssektor					
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
Übriger Umwandlungssektor gesamt	97	97	88	75	63
<i>Änderung ggü. 2014</i>	<i>0,0 %</i>	<i>0,1 %</i>	<i>-8,8 %</i>	<i>-23,0 %</i>	<i>-34,5 %</i>
Pipelineverdichter					
Erdgas	21	23	23	23	23
Pipelineverdichter gesamt	21	23	23	23	23

Sektor	2014	2020	2025	2030	2035
	PJ				
<i>Änderung ggü. 2014</i>	0,0 %	9,8 %	7,9 %	6,2 %	7,9 %
Übrige Energiewirtschaft gesamt	529	558	559	552	585
<i>Änderung ggü. 2014</i>	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

3.1.8.2.1 Bewertung der Einzelmaßnahmen

Im MMS wurde keine direkt in der übrigen Energiewirtschaft wirkenden Maßnahmen formuliert.

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 Zubau 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 3-107. 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 der im MWMS größeren 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 3-107: Energieeinsatz in der übrigen Energiewirtschaft (ohne Kraftwerke) im MWMS 2014-2035

Sektor	2014	2020	2025	2030	2035
	PJ				
Heizwerke					
Braunkohlen	3	5	4	4	5

Sektor	2014	2020	2025	2030	2035
	PJ				
Steinkohlen	14	24	18	9	7
Öl	5	11	11	9	2
Erdgas	93	126	128	140	154
Gichtgas	0	0	0	0	0
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
Wärmepumpen	0	0	0	0	0
Geothermie	1	1	1	1	1
Solarthermie	0	0	0	0	0
Elektroheizer (Tauchsieder)	0	0	0	0	0
Heizwerke gesamt	181	231	227	228	233
<i>Änderung ggü. 2014</i>	<i>0,0 %</i>	<i>27,3 %</i>	<i>25,3 %</i>	<i>25,7 %</i>	<i>28,6 %</i>
Raffinerien					
Öl	31	29	26	24	22
Raffineriegas	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
Raffinerien gesamt	230	212	194	177	160
<i>Änderung ggü. 2014</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-7,5 %</i>	<i>-15,5 %</i>	<i>-23,1 %</i>	<i>-30,3 %</i>
Übriger Umwandlungssektor					
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
Übriger Umwandlungssektor gesamt	97	97	88	75	63
<i>Änderung ggü. 2014</i>	<i>0,0 %</i>	<i>0,2 %</i>	<i>-8,8 %</i>	<i>-23,0 %</i>	<i>-34,6 %</i>
Pipelineverdichter					
Erdgas	21	24	24	24	24

Sektor	2014	2020	2025	2030	2035
	PJ				
Pipelineverdichter gesamt	21	24	24	24	24
<i>Änderung ggü. 2014</i>	<i>0,0 %</i>	<i>11,2 %</i>	<i>12,0 %</i>	<i>12,7 %</i>	<i>10,3 %</i>
Übrige Energiewirtschaft gesamt	529	564	533	503	480
<i>Änderung ggü. 2014</i>	<i>0,0 %</i>	<i>6,6 %</i>	<i>0,8 %</i>	<i>-4,9 %</i>	<i>-9,3 %</i>

Quelle: Brennstoffe: (UBA 2016a, 2016b), übrige Energieträger: (AGEB) (2008a-2016, 2008b-2016), Modellrechnungen des Öko- Institut

3.1.8.3.1 Bewertung der Einzelmaßnahmen

Im MWMS wurden keine direkt in der übrigen Energiewirtschaft wirkenden Maßnahmen formuliert.

3.1.8.4 Ergebnisse der Projektion des Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenarios

Auch im MEMS steigt die Nachfrage nach netzgebundener Wärme (Fernwärme sowie industrielle KWK-Wärme), allerdings noch einmal deutlich langsamer als im MWMS. In Folge dessen wird im Jahr 2020 ein Maximum des Einsatzes öffentlicher Heizwerke erreicht, anschließend sinkt der Einsatz dieser langsam. Im Jahr 2014 stammte etwa ein Fünftel des Energieeinsatzes in öffentlichen Heizwerken aus erneuerbaren Energien (vor allem aus Biomasse), die restlichen vier Fünftel aus fossilen Energieträgern. Bis zum Jahr 2035 sinkt der fossile Anteil am Energieeinsatz der öffentlichen Heizwerke auf 44 %. Da im MEMS außer Biomasse weitere erneuerbare Energieträger zur Bereitstellung von erneuerbarer Fernwärme zum Einsatz kommen (Wärmepumpen, Geothermie, Solarthermie), steigt der Anteil erneuerbarer Energien am Energieeinsatz der öffentlichen Heizwerke bis 2035 auf 37 %. Zusätzlich deckt Strom über Elektroheizer (Tauchsieder für Power-to-Heat) knapp 18 % des Energieeinsatzes öffentlicher Heizwerke.

Der Verbrauch von Mineralöl sinkt im MEMS um mehr als die Hälfte, also nochmals deutlich stärker als im MWMS, da vor allem im Verkehr – aber auch in anderen Sektoren – die Nachfrage nach Mineralölprodukten deutlich zurückgeführt wird. Dies führt dazu, dass dementsprechend die Aktivität der Raffinerien deutlich sinkt. Der Energieverbrauch der Raffinerieunterfeuerungen sinkt zwischen 2014 und 2035 um fast 57 %.

Im Bereich des übrigen Umwandlungssektors zeigt sich ein ähnliches Bild in den anderen beiden Szenarien. Gegenüber dem MMS und dem MWMS ist die Senkung des Energieverbrauchs im MEMS nur etwas höher.

Die Energieverbräuche der Erdgasverdichter erreichen im Jahr 2020 ein Maximum und sinken anschließend. Im Jahr 2035 liegen diese Energieverbräuche etwa 10 % niedriger als im Jahr 2014. Ursache sind über alle Sektoren hinweg signifikant verringerte Erdgasverbräuche. Gegenüber dem MMS und dem MWMS bedeutet dies ein deutlich verändertes Bild, denn in diesen beiden Szenarien steigt der Energieverbrauch der Erdgasverdichter ebenfalls bis 2020 an, bleibt anschließend aber relativ konstant.

In Summe sinkt der Energieeinsatz der übrigen Energiewirtschaft (ohne Kraftwerke) bis 2035 um gut 27 %. Dies ist eine etwa drei Mal so starke Senkung des Energieeinsatzes wie im MWMS, wo der Energieverbrauch um etwa 9 % sinkt und ein klarer Trendbruch gegenüber dem um 10 % steigenden Energieeinsatz im MMS.

Tabelle 3-108: Energieeinsatz in der übrigen Energiewirtschaft (ohne Kraftwerke) im MEMS 2014-2035

Sektor	2014	2020	2025	2030	2035
--------	------	------	------	------	------

	PJ				
Heizwerke					
Braunkohlen	3	3	3	3	0
Steinkohlen	14	16	11	5	2
Öl	5	0	0	0	0
Erdgas	93	127	121	100	57
Gichtgas	0	0	0	0	1
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
Wärmepumpen	0	2	4	8	15
Geothermie	1	3	5	8	10
Solarthermie	0	2	4	8	17
Elektroheizer (Tauchsieder)	0	2	3	11	36
Heizwerke gesamt	181	220	215	206	203
<i>Änderung ggü. 2014</i>	<i>0,0%</i>	<i>21,7%</i>	<i>18,6%</i>	<i>13,8%</i>	<i>12,0%</i>
Raffinerien					
Öl	31	28	24	19	13
Raffineriegas	137	126	105	83	60
Erdgas	32	29	24	19	14
Kokerei-/Stadtgas	2	1	1	1	1
Fern- und Nahwärme	6	5	4	3	2
Strom	22	21	17	14	10
Raffinerien gesamt	230	211	175	138	99
<i>Änderung ggü. 2014</i>	<i>0,0%</i>	<i>-8,2%</i>	<i>-23,8%</i>	<i>-39,9%</i>	<i>-56,7%</i>
Übriger Umwandlungssektor					
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
Übriger Umwandlungssektor gesamt	97	97	88	74	63
<i>Änderung ggü. 2014</i>	<i>0,0%</i>	<i>0,1%</i>	<i>-8,9%</i>	<i>-23,3%</i>	<i>-35,0%</i>

Sektor	2014	2020	2025	2030	2035
	PJ				
Pipelineverdichter					
Erdgas	21	24	23	21	19
Pipelineverdichter gesamt	21	24	23	21	19
<i>Änderung ggü. 2014</i>	<i>0,0%</i>	<i>10,1%</i>	<i>7,3%</i>	<i>-0,5%</i>	<i>-9,8%</i>
Übrige Energiewirtschaft gesamt	529	551	501	440	384
<i>Änderung ggü. 2014</i>	<i>0,0%</i>	<i>4,3%</i>	<i>-5,3%</i>	<i>-16,9%</i>	<i>-27,3%</i>

Quelle: Brennstoffe: (UBA 2016a, 2016b), übrige Energieträger: (AGEB) (2008a-2016, 2008b-2016), Modellrechnungen des Öko- Institut

3.1.8.4.1 Bewertung der Einzelmaßnahmen

Als einzige die übrige Energiewirtschaft direkt betreffende Maßnahme im MEMS wurde im Kapitel 2.7.5.3 der Ausbau erneuerbarer Erzeugungsoptionen im Bereich der Fernwärme formuliert. Netzgebundene Wärme wird heute zum überwiegenden Teil in Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) bereitgestellt. Folglich kann eine Bewertung zusätzlicher erneuerbarer Fernwärme nicht unabhängig vom Kraftwerkssektor erfolgen. Daher ist die Wirkung erneuerbarer Fernwärme in der in Tabelle 3-99 (Kapitel 3.1.7.6.2) quantifizierten Maßnahme „KWK und erneuerbare Wärme“ enthalten.

3.1.8.5 Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Vergleich der Szenarien

Die Treibhausgasemissionen aus der übrigen Energiewirtschaft sind zwischen 1990 und 2014 um etwa 21 % zurückgegangen, liegen aber in drei 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 %. Die Energieverbrauchs- und damit verbundene Emissionsrückgänge in Raffinerien und im übrigen Umwandlungssektor kompensieren den Erdgasanstieg bei den öffentlichen Heizwerken nur teilweise.

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.

Im MEMS machen sich im Bereich der Heizwerke einerseits eine verminderte Nachfrage, andererseits der deutliche Ausbau erneuerbarer Energien zur Deckung von Fernwärme bemerkbar. Zugleich sinken die Energieverbräuche der Raffinerien aufgrund einer stark gesunkenen Nachfrage nach Mineralölprodukten um mehr als die Hälfte und auch im übrigen Umwandlungssektor sinken die Nachfragen, so dass im Jahre 2035 die Treibhausgasemissionen um 54 % gegenüber 1990 gesenkt werden können, gegenüber 2005 entspricht dies einer knappen Halbierung. Im Vergleich der Szenarien bedeutet dies, dass im MEMS 2035 nur noch etwa halb so viel emittiert wird wie im MMS.

Die CO₂-Emissionen dominieren mit etwa 99 % der Gesamtemissionen die übrige Energiewirtschaft deutlich, siehe Tabelle 3-109.

Tabelle 3-109: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen in der übrigen Energiewirtschaft zwischen 1990 und 2035 im Vergleich der Szenarien

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
CO₂-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
MEMS					29,5	26,1	22,0	16,7
CH₄-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
MEMS					0,3	0,2	0,2	0,1
N₂O-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
MEMS					0,2	0,2	0,1	0,1
Summe CO₂+CH₄+N₂O								
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
MEMS					30,0	26,5	22,4	17,0
Summe CO₂+CH₄+N₂O	Veränderung ab 1990 in %							
Entwicklung 1990 – 2014		-9,9	-10,4	-20,7				
MMS					-14,7	-14,7	-14,9	-9,1
MWMS					-14,4	-19,8	-24,6	-27,8
MEMS					-19,3	-28,6	-39,8	-54,4
Summe CO₂+CH₄+N₂O	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
MEMS					-10,4	-20,8	-33,2	-49,4

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 Ener-

gieträger (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 3-110: 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
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 Förde-

rung in deutschen Bergwerken bis zum Jahr 2018 aufgrund des Endes der Subventionierung entsprechend § 1 Abs. 1 Steinkohlefinanzierungsgesetz (SteinkohleFinG) (Deutscher Bundestag 2015) vollständig eingestellt wird.

- b) Für die Förderung von Erdöl in Deutschland wurde auf die Energierferenzprognose (Prognos AG, EWI, GWS 2014) zurückgegriffen. Für die inländische Erdgasförderung wurden auf die bis zum Jahr 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 und im MEMS keine Maßnahmen im Bereich der diffusen Emissionen. Da sämtliche Methoden, Annahmen und Parameter für alle drei Szenarien identisch sind, ergeben sich alle Unterschiede zwischen MMS, MWMS und MEMS hinsichtlich der diffusen Emissionen aus Brennstoffen ausschließlich aus unterschiedlichen Energieverbräuchen.

3.1.9.3 Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios

Tabelle 3-111 zeigt die Entwicklung der diffusen Emissionen aus Brennstoffen. Im Zeitraum von 1990 bis 2014 sanken diese Emissionen um 72 % von 38,0 Mt CO₂e auf 10,5 Mt CO₂e. Durch weitere deutliche Emissionsminderungen verbleiben im Jahr 2035 noch 6,5 Mt CO₂e, was einer Reduktion von 83 % gegenüber dem 1990 entspricht.

Im Jahr 1990 war die bedeutendste Emissionsquelle der Kohlenbergbau mit 25,5 Mt CO₂e. Bis zum Jahr 2014 sind diese Emissionen bereits um 89 % auf nur noch 2,7 Mt CO₂e 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 CO₂e, 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 CO₂e im Jahr 1990 zunächst auf ein Maximum von 10,1 Mt CO₂e in den Jahren 1995/1996 an und fielen anschließend auf 6,1 Mt CO₂e im Jahr 2014. Bis zum Jahr 2035 ist ein Rückgang auf 4,9 Mt CO₂e und damit 48 % niedriger als 1990 zu erwarten. Deutlich rückläufige Emissionen sind einerseits durch eine rückläufige Erdgasförderung und damit verbundene Gasaufarbeitung und andererseits durch sinkende Erdgasverbräuche zu erwarten. Andererseits führt ein Ausbau des Erdgasnetzes zu einem leichten Anstieg der dortigen diffusen Emissionen.

Förderung, Verarbeitung und Verteilung von Öl trägt nur in geringem Umfang zu diffusen Emissionen aus Brennstoffen bei. Hier sanken die Emissionen (CO₂ und CH₄) von 0,7 Mt CO₂e im Jahr 1990 auf 0,5 Mt CO₂e im Jahr 2014 und werden auf 0,4 Mt CO₂e im Jahr 2035 sinken. Ähnliches gilt für die Emissionen aus Abfackelung und Belüftung: Hier sanken die Emissionen von 0,5 Mt CO₂e (1990) auf 0,4 Mt CO₂e (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) steigern.

Tabelle 3-111: Entwicklung der diffusen Emissionen aus Brennstoffen im MMS (1990-2035)

	1990	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO ₂ e						
CO₂-Emissionen						
Kohlenbergbau (1.B.1.a)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Koksproduktion (1.B.1.b)	1,8	0,7	0,7	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
CO₂-Emissionen gesamt	4,1	2,6	2,3	1,9	1,5	1,2
CH₄-Emissionen						
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
CH₄-Emissionen gesamt	33,9	7,9	5,3	5,3	5,3	5,2
N₂O-Emissionen						
N₂O-Emissionen gesamt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CO₂-, CH₄- und N₂O-Emissionen						
Diffuse Emissionen gesamt	38,0	10,5	7,6	7,2	6,8	6,5
<i>ggü. 2005</i>	<i>130,8 %</i>	<i>-36,1 %</i>	<i>-53,7 %</i>	<i>-56,5 %</i>	<i>-58,9 %</i>	<i>-60,7 %</i>
<i>ggü. 1990</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-72,3 %</i>	<i>-79,9 %</i>	<i>-81,1 %</i>	<i>-82,2 %</i>	<i>-83,0 %</i>

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

3.1.9.4 Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios

Tabelle 3-115 zeigt die Entwicklung der diffusen Emissionen aus Brennstoffen. Im Zeitraum von 1990 bis 2014 sanken diese Emissionen um 72 % von 38,0 Mt CO₂e auf 10,5 Mt CO₂e. Durch weitere deutliche Emissionsminderungen verbleiben im Jahr 2035 noch 6,4 Mt CO₂e, was 83 % niedriger als 1990 ist. Der Unterschied gegenüber dem MWMS beträgt weniger als 0,1 Mt CO₂e, daher gelten die Aussagen für das MMS auch im Wesentlichen für das MWMS. 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 3-112: Entwicklung der diffusen Emissionen aus Brennstoffen im MWMS (1990-2035)

	1990	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO ₂ e						
CO₂-Emissionen						
Kohlenbergbau (1.B.1.a)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Koksproduktion (1.B.1.b)	1,8	0,7	0,7	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
CO₂-Emissionen gesamt	4,1	2,6	2,3	1,9	1,5	1,2
CH₄-Emissionen						
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
CH₄-Emissionen gesamt	33,9	7,9	5,3	5,3	5,3	5,2
N₂O-Emissionen						
N₂O-Emissionen gesamt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CO₂-, CH₄- und N₂O-Emissionen						
Diffuse Emissionen gesamt	38,0	10,5	7,6	7,2	6,8	6,4
<i>ggü. 2005</i>	<i>130,8 %</i>	<i>-36,1 %</i>	<i>-53,6 %</i>	<i>-56,3 %</i>	<i>-58,8 %</i>	<i>-60,9 %</i>
<i>ggü. 1990</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-72,3 %</i>	<i>-79,9 %</i>	<i>-81,1 %</i>	<i>-82,2 %</i>	<i>-83,0 %</i>

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

3.1.9.5 Ergebnisse der Projektion des Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenarios

Tabelle 3-113 zeigt die Entwicklung der diffusen Emissionen aus Brennstoffen. Im Zeitraum von 1990 bis 2014 sanken diese Emissionen um 72 % von 38,0 Mt CO₂e auf 10,5 Mt CO₂e. Durch weitere deutliche Emissionsminderungen verbleiben im Jahr 2035 noch 6,2 Mt CO₂e, was 83 % niedriger als 1990 ist. Der Unterschied gegenüber dem MMS und dem MWMS beträgt etwa 0,3 Mt CO₂e, daher gelten die Aussagen für das MMS auch im Wesentlichen für das MEMS. Die Emissionen aus der Ölverarbeitung und aus Erdgas sind im MEMS aufgrund der niedrigeren Ölnachfrage etwas geringer.

Tabelle 3-113: Entwicklung der diffusen Emissionen aus Brennstoffen im MEMS (1990-2035)

	1990	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO ₂ e						

	1990	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO ₂ e						
CO₂-Emissionen						
Kohlenbergbau (1.B.1.a)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Koksproduktion (1.B.1.b)	1,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6
Ölförderung, -verarbeitung & -transport (1.B.2.a)	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1
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
CO₂-Emissionen gesamt	4,1	2,6	2,3	1,8	1,4	1,1
CH₄-Emissionen						
Kohlenbergbau (1.B.1.a)	25,5	2,7	0,1	0,1	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	0,1	0,1
Gasförderung-, -verarbeitung & -transport (1.B.2.b)	7,9	4,8	4,9	4,9	4,8	4,8
Abfackelung & Entlüftung (1.B.2.c)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CH₄-Emissionen gesamt	33,9	7,9	5,3	5,3	5,1	5,0
N₂O-Emissionen						
N₂O-Emissionen gesamt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CO₂-, CH₄- und N₂O-Emissionen						
Diffuse Emissionen gesamt	38,0	10,5	7,6	7,1	6,6	6,2
<i>ggü. 2005</i>	<i>130,8%</i>	<i>-36,1%</i>	<i>-53,8%</i>	<i>-56,9%</i>	<i>-60,0%</i>	<i>-62,5%</i>
<i>ggü. 1990</i>	<i>0,0%</i>	<i>-72,3%</i>	<i>-80,0%</i>	<i>-81,3%</i>	<i>-82,7%</i>	<i>-83,8%</i>

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

3.1.9.6 Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Vergleich der Szenarien

Die Unterschiede zwischen den drei Szenarien sind nur gering. Bis 2014 sind die diffusen Kohlendioxidemissionen aus Brennstoffen bereits um 35 % gegenüber 1990 gesunken und werden im MMS und MWMS bis 2035 noch einmal auf 70 % gegenüber 1990 halbieren. Im MEMS wird sogar eine Reduktion um 72 % erreicht. Die diffusen Methanemissionen sind bis 2014 bereits um 77 % gegenüber 1990 gesunken und werden bis in allen drei Szenarien 2035 weiter auf -85 % sinken. Die diffusen Lachgasemissionen waren nahezu irrelevant und werden dies auch weiter bleiben.

Tabelle 3-114: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen der diffusen Emissionen aus Brennstoffen zwischen 1990 und 2035 im Vergleich der Szenarien

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO ₂ e								
CO ₂ -Emissionen								

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
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
MEMS					2,3	1,8	1,4	1,1
CH ₄ -Emissionen								
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
MEMS					5,3	5,3	5,1	5,0
N ₂ O-Emissionen								
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
MEMS					0,0	0,0	0,0	0,0
Summe CO₂+CH₄+N₂O								
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
MEMS					7,6	7,1	6,6	6,2
Summe CO ₂ +CH ₄ +N ₂ O	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
MEMS					-80,0	-81,3	-82,7	-83,8
Summe CO ₂ +CH ₄ +N ₂ O	Veränderung ab 2005 in %							
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
MEMS					-53,8	-56,9	-60,0	-62,5

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

3.1.10 Industrieprozesse und Produktverwendung (CO₂-, CH₄- und N₂O-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 Prozessemissionen erfolgt im Bereich der Eisen- und Stahlindustrie mit einer besonderer Bedeutung der Primärstahlerzeugung über die Hochofenroute: Hier gehen als Eingangsparameter in die Emissionsberechnung einerseits die Brennstoffeinsätze in Hochöfen (v.a. Steinkohle, aber auch Mineralölprodukte und Braunkohle) und die entstehenden Kuppelgase (Gichtgas) und andererseits die Produktionsmengen an Primärstahl ein. Anschließend werden die gesamten entstehenden Emissionen in Anlehnung an die Methodik im Nationalen Treibhausgasinventar (UBA 2016a) in energiebedingte Emissionen (CRF 1.A.2) und prozessbedingte Emissionen (CRF 2.C.1) aufgeteilt, um diese korrekt zuordnen zu können.

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. Produktgruppen unter der Annahme konstanter Emissionsfaktoren möglich. Für nicht in Tabelle 2-13 aufgeführte Prozesse wurden – sofern vorhanden alternative Aktivitätsdaten verwendet.

2. 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 CO₂-, CH₄- und N₂O-Emissionen ergeben sich damit stets aus den zu Grunde gelegten Produktionsmengen, die entweder exogen vorgegeben sind oder konstant gehalten werden bzw. über die modellendogen ermittelten Produktionsniveaus ermittelt werden.

Für die Ermittlung der indirekten CO₂-Emissionen aus NMVOC-Emissionen im Bereich der Lösemittel und anderer Produktverwendung wurden NMVOC-Emissionsprojektionen aus dem 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 N₂O-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 CO₂e auf 46,4 Mt CO₂e. Bis zum Jahr 2035 werden diese Emissionen im Mit-Maßnahmen-Szenario auf 40,4 Mt CO₂e 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 CO₂e im Jahr 1990 auf 19,1 Mt CO₂e im Jahr 2014 senken. Mit Abstand wichtigste Emissionsquelle ist hier die Zementklinkerproduktion gefolgt von der Kalkherstellung. Glas-, Keramik- und Sodaherstellung haben im Vergleich dazu eine untergeordnete Bedeutung. Bis zum Jahr 2035 werden die Emissionen der mineralischen Industrie auf 17,8 Mt CO₂e sinken, wobei hier vor allem ein produktionsmengenbedingter Rückgang der Emissionen aus Zement und Kalk zu verzeichnen ist, während die Emissionen aus Glas und Keramik – ebenfalls produktionsmengenbedingt – leicht ansteigend sind.

Im Jahr 1990 hatte die chemische Industrie (CRF 2.B) die Branche mit 30,0 Mt CO₂e den größten Anteil an den CO₂-, CH₄- und N₂O-Emissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung. Bis zum Jahr 2014 konnten diese Emissionen um 75 % auf 7,5 Mt CO₂e reduziert werden. Besonders bedeutsam waren hier die Rückgänge der N₂O-Emissionen aus der Salpetersäure- und Adipinsäureproduktion.

Hier wird unterstellt, dass die im Jahr 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 CO₂ zu erwarten. Bezüglich der Maßnahmenbewertung (Einbeziehung der N₂O-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 CO₂-, CH₄- und N₂O-Emissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung im Jahr 1990 war die Metallproduktion (CRF 2.C) mit 25,1 Mt CO₂e. Hier sanken die Emissionen bis zum Jahr 2014 um 32 % auf 17,0 Mt CO₂e. Dominiert wird dieser Bereich von den Emissionen aus der Eisen- und Stahlproduktion und dabei insbesondere durch die Oxygenstahlproduktion im Hochofen. Bei der Stahlproduktion zeigt sich zukünftig ein Absinken der Produktionsmengen an Oxygenstahl. Bis zum Jahr 2035 werden die Emissionen aus der Metallproduktion auf 11,1 Mt CO₂e 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 CO₂e im Jahr 1990 um 24 % auf 2,5 Mt CO₂e. Ursache war hier vor allem ein deutlicher Rückgang der Emissionen aus Lösemittelverwendung. Bis zum Jahr 2035 werden die Emissionen aus nichtenergetischer Verwendung von Brennstoffen aus Lösemitteln auf 3,4 Mt CO₂e und damit oberhalb des Niveaus von 1990 ansteigen. Ursache ist hierfür vor allem das Fortschreiben des Trends zu steigenden Emissionen aus Paraffinwachsen.

Die CO₂-, CH₄- und N₂O-Emissionen aus sonstiger Produktherstellung und -verwendung (CRF 2.G) sanken von 2,0 Mt CO₂e im Jahr 1990 um 80 % auf 0,4 Mt CO₂e; dieses Emissionsniveau wurde auch bis 2035 fortgeschrieben. Wichtigste verbleibende Emissionsquelle in diesem Bereich ist das Lachgas in medizinischen Anwendungen.

Tabelle 3-115: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen für Industrieprozesse und Produktverwendung zwischen 1990 und 2035 im MMS

	1990	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO ₂ e						
CO₂-Emissionen						
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 Sodaverwendung (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	12,0	11,3

	1990	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO ₂ e						
<i>Eisen & Stahl (2.C.1)</i>	22,8	15,9	14,1	12,1	10,9	10,3
<i>Ferrolegerungen (2.C.2)</i>	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Aluminium (2.C.3)</i>	1,0	0,7	0,8	0,7	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 ₂ -Emissionen gesamt	59,3	44,8	44,5	42,1	40,1	38,6
CH₄-Emissionen						
CH ₄ -Emissionen gesamt	0,3	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6
N₂O-Emissionen						
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- & 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 ₂ O-Emissionen gesamt	23,6	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2
Summe CO₂+CH₄+N₂O						
Industrieprozesse gesamt	83,2	46,4	46,2	43,9	41,9	40,4
<i>ggü. 2005</i>	35,5 %	-24,4 %	-24,8 %	-28,6 %	-31,9 %	-34,3 %
<i>ggü. 1990</i>	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 Kohlendioxid-, 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 CO₂e niedriger als im MMS.

Tabelle 3-116: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen für Industrieprozesse und Produktverwendung zwischen 1990 und 2035 im MWMS

	1990	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO ₂ e						
CO₂-Emissionen						
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 Sodaverwendung (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 & Stahl (2.C.1)</i>	22,8	15,9	14,1	12,1	10,8	10,0
<i>Ferrolegerungen (2.C.2)</i>	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Aluminium (2.C.3)</i>	1,0	0,7	0,8	0,7	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 ₂ -Emissionen gesamt	59,3	44,8	44,5	42,1	40,0	38,3
CH₄-Emissionen						
CH ₄ -Emissionen gesamt	0,3	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6
N₂O-Emissionen						
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- & 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	2,0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4

	1990	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO ₂ e						
(2.G)						
N ₂ O-Emissionen gesamt	23,6	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2
Summe CO₂+CH₄+N₂O						
Industrieprozesse gesamt	83,2	46,4	46,2	43,8	41,8	40,0
<i>ggü. 2005</i>	35,5 %	-24,4 %	-24,8 %	-28,7 %	-32,0 %	-34,8 %
<i>ggü. 1990</i>	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 Ergebnisse der Projektion des Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenarios

Auch im Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario keine expliziten Maßnahmen zur Reduktion der Kohlendioxid-, Methan- und Lachgasemissionen. Daher bleiben auch im MEMS 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 MEMS die Emissionen im Jahr 2035 um 0,2 Mt CO₂e niedriger als im MWMS und um 0,4 Mt CO₂e niedriger als im MMS.

Tabelle 3-117: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen für Industrieprozesse und Produktverwendung zwischen 1990 und 2035 im MEMS

	1990	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO ₂ e						
CO₂-Emissionen						
Mineralische Industrie (2.A)	22,8	19,1	19,8	19,4	18,6	17,8
<i>Zement (2.A.1)</i>	<i>15,1</i>	<i>12,7</i>	<i>13,3</i>	<i>13,0</i>	<i>12,6</i>	<i>12,0</i>
<i>Kalk (2.A.2)</i>	<i>6,0</i>	<i>5,0</i>	<i>4,9</i>	<i>4,8</i>	<i>4,5</i>	<i>4,2</i>
<i>Glas (2.A.3)</i>	<i>0,8</i>	<i>0,9</i>	<i>1,0</i>	<i>1,0</i>	<i>1,0</i>	<i>1,0</i>
<i>Keramik (2.A.4.a)</i>	<i>0,5</i>	<i>0,3</i>	<i>0,4</i>	<i>0,4</i>	<i>0,4</i>	<i>0,4</i>
<i>Sonstige Sodaverwendung (2.A.4.b)</i>	<i>0,3</i>	<i>0,2</i>	<i>0,2</i>	<i>0,2</i>	<i>0,2</i>	<i>0,2</i>
Chemische Industrie (2.B)	8,1	6,2	6,6	6,6	6,4	6,3
<i>Ammoniak (2.B.1)</i>	<i>6,0</i>	<i>4,8</i>	<i>5,1</i>	<i>5,1</i>	<i>5,0</i>	<i>4,8</i>
<i>Carbid (2.B.5)</i>	<i>0,4</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>
<i>Soda (2.B.7)</i>	<i>0,7</i>	<i>0,5</i>	<i>0,5</i>	<i>0,5</i>	<i>0,5</i>	<i>0,5</i>
<i>Industrieruß (2.B.8)</i>	<i>1,0</i>	<i>1,0</i>	<i>1,0</i>	<i>1,0</i>	<i>1,0</i>	<i>1,0</i>
Metallproduktion (2.C)	25,1	17,0	15,3	13,1	11,7	10,8
<i>Eisen & Stahl (2.C.1)</i>	<i>22,8</i>	<i>15,9</i>	<i>14,1</i>	<i>12,0</i>	<i>10,6</i>	<i>9,8</i>
<i>Ferrolegerungen (2.C.2)</i>	<i>0,4</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>
<i>Aluminium (2.C.3)</i>	<i>1,0</i>	<i>0,7</i>	<i>0,8</i>	<i>0,7</i>	<i>0,7</i>	<i>0,6</i>
<i>Blei (2.C.5)</i>	<i>0,2</i>	<i>0,1</i>	<i>0,1</i>	<i>0,1</i>	<i>0,1</i>	<i>0,1</i>
<i>Zink (2.C.6)</i>	<i>0,7</i>	<i>0,3</i>	<i>0,3</i>	<i>0,3</i>	<i>0,3</i>	<i>0,3</i>

	1990	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO ₂ e						
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 ₂ -Emissionen gesamt	59,3	44,8	44,5	42,0	39,8	38,0
CH₄-Emissionen						
CH ₄ -Emissionen gesamt	0,3	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6
N₂O-Emissionen						
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	0,6	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- & Glyoxalsäure (2.B.4)</i>	0,2	NA,IE	IE,NA	IE,NA	IE,NA	IE,NA
Metallproduktion (2.C)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nichtenergetische Verwendung (2.D)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sonstige Produktherstellung- & verwendung (2.G)	2,0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
N ₂ O-Emissionen gesamt	23,6	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2
Summe CO₂+CH₄+N₂O						
Industrieprozesse gesamt	83,2	46,4	46,2	43,7	41,6	39,8
<i>ggü. 2005</i>	35,5 %	-24,4 %	-24,8%	-28,8%	-32,3%	-35,3%
<i>ggü. 1990</i>	0,0 %	-44,2 %	-44,5%	-47,5%	-50,1%	-52,2%

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

3.1.10.5 Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Vergleich der Szenarien

Tabelle 3-81 zeigt die Emissionsentwicklungen für CO₂, CH₄ und N₂O im Sektor Industrieprozesse und Produktverwendung von 1990 bis 2035 sowie die seit 1990 bzw. 2005 erzielten Minderungen im Überblick. Bis zum Jahr 2035 sinken die Emissionen in allen drei Szenarien auf ca. 40 Mt CO₂e. Dies entspricht einer Reduktion von etwa 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 CO₂-Emissionen auswirken. Zwischen 2014 und 2035 ergibt sich für CO₂ ein Rückgang um 14 % bis 15 % in allen 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 allen Szenarien. CO₂ 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 N₂O und CH₄ auf niedrigem Niveau.

Tabelle 3-118: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Sektor Industrieprozesse und Produktverwendung zwischen 1990 und 2035 im Vergleich der Szenarien

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
CO₂-Emissionen								
Entwicklung1990–2014	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
MEMS					44,5	42,0	39,8	38,0
CH₄-Emissionen								
Entwicklung1990–2014	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
MEMS					0,6	0,6	0,6	0,6
N₂O-Emissionen								
Entwicklung1990–2014	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
MEMS					1,2	1,2	1,2	1,2
Summe CO₂+CH₄+N₂O								
Entwicklung1990–2014	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
MEMS					46,2	43,7	41,6	39,8
Summe CO₂+CH₄+N₂O	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
MEMS					-44,5	-47,5	-50,1	-52,2
Summe CO₂+CH₄+N₂O	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
MEMS					-24,8	-28,8	-32,3	-35,3

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

Anmerkungen: nur prozessbedingte Emissionen in der Abgrenzung des NIR, ohne CO₂-Emissionen aus der Rauchgasentschwefelung

3.1.11 Industrieprozesse und Produktverwendung (Emissionen fluoriierter Treibhausgase)

3.1.11.1 Methodik sowie Annahmen und Parameter

Die Projektionen der Emissionen fluoriierter 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 verschiedenen Substanzen, davon 6 neu);
- perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW, 9 verschiedene Substanzen, davon 2 neu);
- Schwefelhexafluorid (SF₆) sowie
- neu auch Stickstofftrifluorid (NF₃).

Um vertrauliche Daten zu schützen, kann in den Inventaren gemäß den IPCC Guidelines auch eine „nicht spezifizierte Mischung von HFKW und FKW“ berichtet werden¹⁰⁵. Für die Umrechnung der Emissionen der verschiedenen Substanzen in CO₂-Äquivalente (CO₂e) werden seitdem die Treibhausgaspotenziale (GWPs) aus dem 4. IPCC Assessment Report (AR4) verwendet¹⁰⁶.

Die Projektion für die *HFKW-Emissionen* beruht im Wesentlichen auf einer von Öko-Recherche und dem Öko-Institut durchgeführten Studie für das Umweltbundesamt (UBA 2015a). 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 (2015a) 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 (2015a) vorgenommen.

Für die Effekte im MMS der MAC-Richtlinie, welche das GWP von Kältemitteln in Klimaanlage neuer Pkw-Modelle beschränkt, wird auf eine entsprechende Abschätzung in UBA (2011) zurückgegriffen.

Im Detail werden die F-Gas-Emissionen der einzelnen Inventarkategorien wie folgt modelliert:

Die HFKW-Emissionen aus *Kälte- und Klimaanlage, Schaumherstellung, Feuerlöschanlagen, Aerosolen und medizinischen Dosiersprays* werden basierend auf den in UBA (2015a) 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

¹⁰⁵ Im Fall des dieser Projektion zu Grunde liegenden deutschen Inventars von 2016, sind in dieser „nicht spezifizierten Mischung“ auch vertrauliche SF₆-Emissionen enthalten.

¹⁰⁶ Bis 2014 waren in der Inventarerstellung die GWPs des 2. IPCC Assessment Report (SAR) benutzt worden.

Umstieg auf HFKW-freie Anlagen zu erwarten ist und in welchen Anwendungssektoren weiterhin eine Nachfrage nach HFKW – und damit zeitversetzt auch HFKW-Emissionen – zu erwarten sind. Außerdem wird gemäß Verordnung (EU) Nr. 517/2014 die Ausnahme vom HFKW-Phase-down für medizinische Dosiersprays ab 2018 sowie das Verbot für Feuerlöschanlagen mit HFKW-23 ab 2016 berücksichtigt. In *Kälte- und Klimaanlage* werden FKW nur in sehr geringem Umfang eingesetzt. Diese Emissionen werden konstant fortgeschrieben.

Für HFKW-Emissionen aus *ORC-Anlagen (Organic Rankine Cycle – die Haupteinsatzbereiche von ORC-Anlagen sind Geothermie-Anlagen und die Abwärmenutzung von (Heiz-)Kraftwerken und Biogas-Anlagen)* wird angesichts des angenommenen starken Zuwachses dieser Anlagen insbesondere im geothermischen Bereich bis 2020 ein starkes Wachstum an Emissionen angenommen, danach aber unter der Wirkung der HFKW-Angebotsverknappung unter dem EU-Phase-down ein vermehrter Umstieg auf HFKW-freie Alternativen und eine Stagnation der Emissionen bis 2030. FKW-Emissionen aus *ORC-Anlagen* werden wie in den letzten Inventarjahren nicht mehr angenommen.

HFKW-Emissionen aus der *Produktion von halogenierten Kohlenwasserstoffen* liegen nicht im Anwendungsbereich des HFKW-Phase-down und werden wie auch entsprechende FKW- und SF₆-Emissionen konstant von 2014 fortgeschrieben.

Die FKW-Emissionen aus der *Produktion von Primäraluminium* werden proportional zur angenommenen Produktionsentwicklung modelliert. Dabei werden die spezifischen Emissionen von 2014 konstant fortgeschrieben. Für SF₆-Emissionen aus *Magnesiumgießereien* werden angesichts des ab 2018 geltenden spezifischen Verwendungsverbots von SF₆ gemäß EU-Verordnung (EU) Nr. 517/2014 ab 2020 keine Emissionen mehr angenommen. Ein zumindest teilweise zu erwartender Ersatz von SF₆ (GWP 22 800) durch HFKW-134a (GWP 1 430) ist in der HFKW-Projektion berücksichtigt: Für die HFKW-Emissionen aus *Magnesium-Gießereien*¹⁰⁷ und die Anwendung von SF₆ als Reinigungsgas in *Aluminiumgießereien* wird hier in Anlehnung an UBA (2011) eine jährliche Produktions- und Emissionssteigerung von 1 % angenommen.

Die SF₆-Emissionen aus *elektrischen Anlagen*, aus *Tracergasanwendungen*, aus der Produktion von *optischen Glasfasern* und aus der *Photovoltaikproduktion* werden konstant von 2014 fortgeschrieben. Ebenfalls werden die SF₆-, FKW-, NF₃- und HFKW-Emissionen aus der *Halbleiterproduktion*¹⁰⁸ konstant fortgeschrieben, wie auch die FKW- und NF₃-Emissionen aus der *Photovoltaik-Industrie*.

Für Emission aus mit SF₆ befüllten *Autoreifen* wird angenommen, dass das seit 2007 geltende Verbot gemäß Verordnungen (EU) Nr. 842/2006 und Nr. 517/2014 vollständig umgesetzt wurde und deshalb ab 2015 keine Emissionen mehr entstehen. Eine Emissionsprojektion für SF₆ aus *Schallschutzfenstern* wurde aus UBA (2011) übernommen, der Effekt des in der EU-F-Gas-Verordnung erlassenen 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-Lösemittlemissionen FKW- und SF₆-Emissionen aus *Radaranlagen*, *Schweißen*, *medizinische und kosmetische Anwendungen* sowie in der Vergangenheit *Sportschuhen*. Diese Emissionen wurden konstant fortgeschrieben.

Für sämtliche fluorierten Treibhausgase entsprechen die Annahmen im Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (MEMS) dem Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS).

¹⁰⁷ Hier dient das Gas HFKW-134a als emissionsmindernder Ersatz für das ca. 15-fach stärker treibhausgaswirksame Gas SF₆, welches laut Verordnung (EU) Nr. 517/2014) ab 2018 für diesen Anwendungsbereich verboten ist.

¹⁰⁸ Der Einsatz von HFKW in der Halbleiterproduktion ist gemäß Verordnung (EU) Nr. 517/2014 vom HFKW-Phase-down ausgenommen.

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 3-119 zusammengefasst. Die erwarteten Wirkungen steigen in der Summe von 5 Mt CO₂e im Jahr 2020 auf 16 Mt CO₂e pro Jahr für 2030 und 2035. Im Zeithorizont 2030/2035 tragen die EU-MAC-Richtlinie zu Pkw-Klimaanlagen, sowie der HFKW-Phase-down und die SF₆-Verbote unter der EU-F-Gase-Verordnung zu je etwa 4 bis 6 Mt CO₂e pro Jahr bei.

Tabelle 3-119: Emissionsminderungswirkung von F-Gase-orientierten Einzelmaßnahmen im MMS

Wirkung von Minderungsmaßnahmen im MMS	Instrumententyp	Wirkungsbeginn	2015	2020	2025	2030	2035
			Mt CO ₂ 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
HFKW-Phase-Down nach EU F-Gas Verordnung 517/2014 (inkl. Chemikalien-Klimaschutz-Verordnung & NKI-Förderung)	E/R	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
SF ₆ -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
Summe der betrachteten Maßnahmen			2,7	4,7	9,2	15,7	16,4

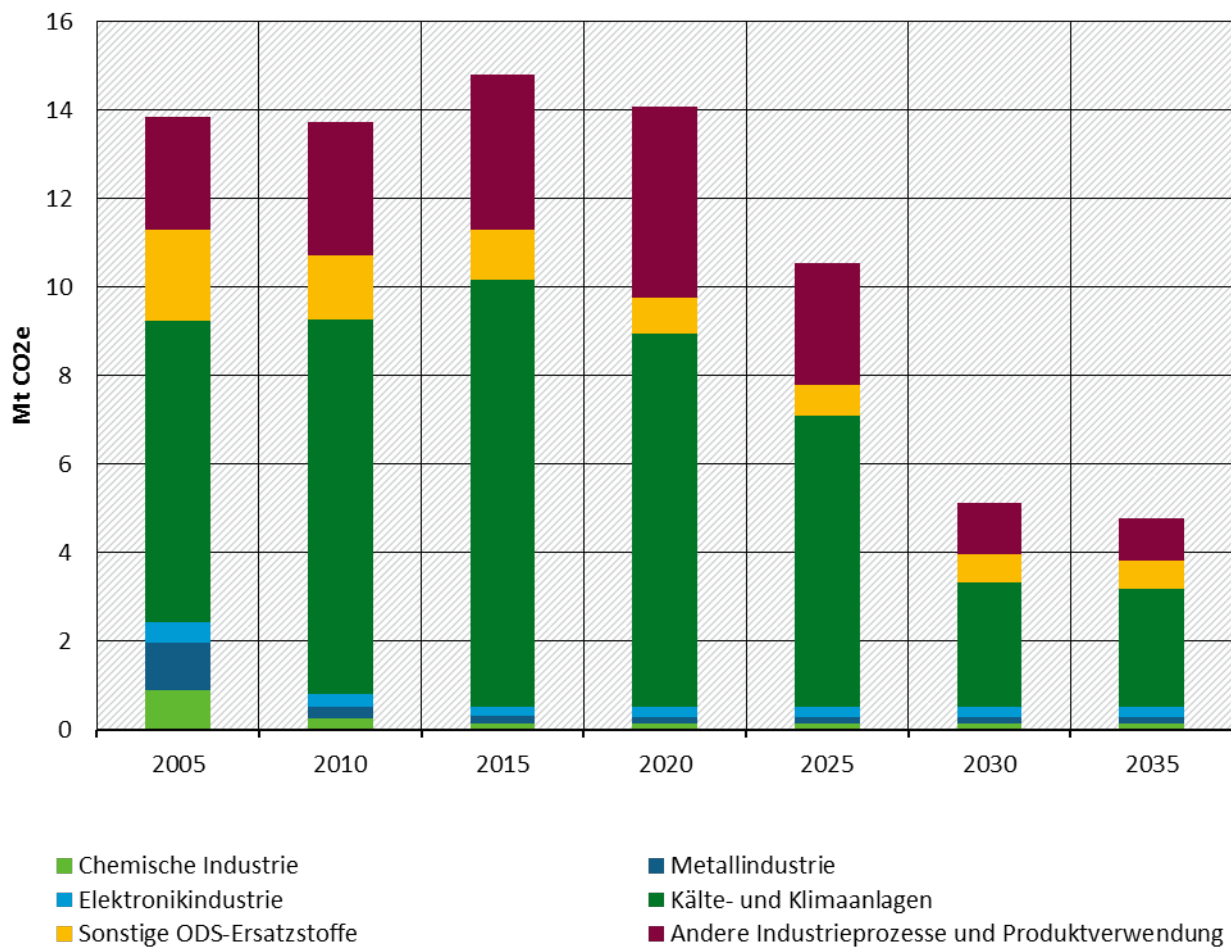
Quelle: Berechnung Öko-Institut

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 3-20 und Tabelle 3-118 gezeigte Emissionsentwicklung für fluorierte Treibhausgase (F-Gase).

Abbildung 3-20: 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 Klimaanlage hinaus) ODS-Ersatzstoffe sind vor allem Schaumproduktion, Feuerlöschanlagen, medizinische Inhalationssprays und andere Aerosole.
Emissionen aus „anderen“ Industrieprozessen und Produkthanwendung sind bis 2025 dominiert von SF₆-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 aus Kälte- und Klimaanlage sowie SF₆-Emissionen aus alten Schallschutzfenstern bei sinkenden SF₆- 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 sinkende HFKW-Emissionen aus Kälte- und Klimaanlage sowie das Auslaufen der SF₆-Emissionen aus in der Vergangenheit verbauten Schallschutzfenstern, deren Neuinstallation schon seit 2008 verboten ist.

Tabelle 3-120: Entwicklung der Emissionen an fluorierten Treibhausgasen im MMS 2005-2035

Quellgruppe und Gase		2005	2010	2014	2015	2020	2025	2030	2035
		Mt CO ₂ e							
Chemische Industrie	HFKW, FKW und SF ₆ aus fluorchemischer 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 ₆ in Aluminium- und Magnesium-Gießereien	1,1	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Elektronikindustrie	FKW, SF ₆ , NF ₃ und HFKW aus Halbleiter- und Photovoltaikproduktion	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Kälte- und Klimaanlageanlagen	HFKW und geringe Mengen FKW aus stationären und mobilen Kälte- und Klimaanlageanlagen, inklusive Wärmepumpen	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	SF ₆ , HFKW und FKW aus Schallschutzfenstern, Teilchenbeschleunigern, Produktion optischer Glasfasern, Spürgas, Reifenbefüllung, Radaranlagen, ORC-Anlagen, Schweißen, Sportschuhen, Lösemittelanwendungen und sonstigen medizinischen und kosmetischen Anwendungen	2,6	3,0	3,3	3,5	4,3	2,7	1,2	1,0
Summe fluorierte Treibhausgase		13,9	13,7	14,6	14,8	14,1	10,5	5,1	4,8

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 Klimaanlageanlagen 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 (2015a) 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 3-119).

Tabelle 3-121: Emissionsminderungswirkung von F-Gase-orientierten Einzelmaßnahmen im MWMS im Vergleich zum MMS

Wirkung von Minderungsmaßnahmen in MWMS		Instrumententyp	2020	2025	2030	2035
		Mt CO ₂ e				
Begleitmaßnahmen zur F-Gas VO aus dem Aktionsprogramm Klimaschutz	<ul style="list-style-type: none"> o Kompetenz- und Beratungsstelle für natürliche Kältemittel o Unterstützung von Handwerk/KMU beim Einstieg in natürliche Kältemittel o Handlungsleitfaden zum Einsatz von Kohlenwasserstoffen in Wärmepumpen o Förderung des verstärkten Einsatzes von nichthalogenierten Kältemitteln in der Fahrzeugklimatisierung (Busse, LKW, Bahnfahrzeuge), Förderung von Busklimaanlagen mit CO₂ als alternativem Kältemittel o Förderung des verstärkten Einsatzes von nichthalogenierten Kältemitteln in der Transportkälte und in stationären Kälte- und Klimaanlagen 	I, ET, E	0,2	2,0	-	-
Novellierung des „Impulsprogramm gewerbliche Kälte- und Klimaanlagen“ der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI)	Minderungswirkung wird im Sektor GHD bilanziert	E	-	-	-	-
Summe der betrachteten Maßnahmen			0,2	2,0	-	-

Quelle: Berechnung Öko-Institut

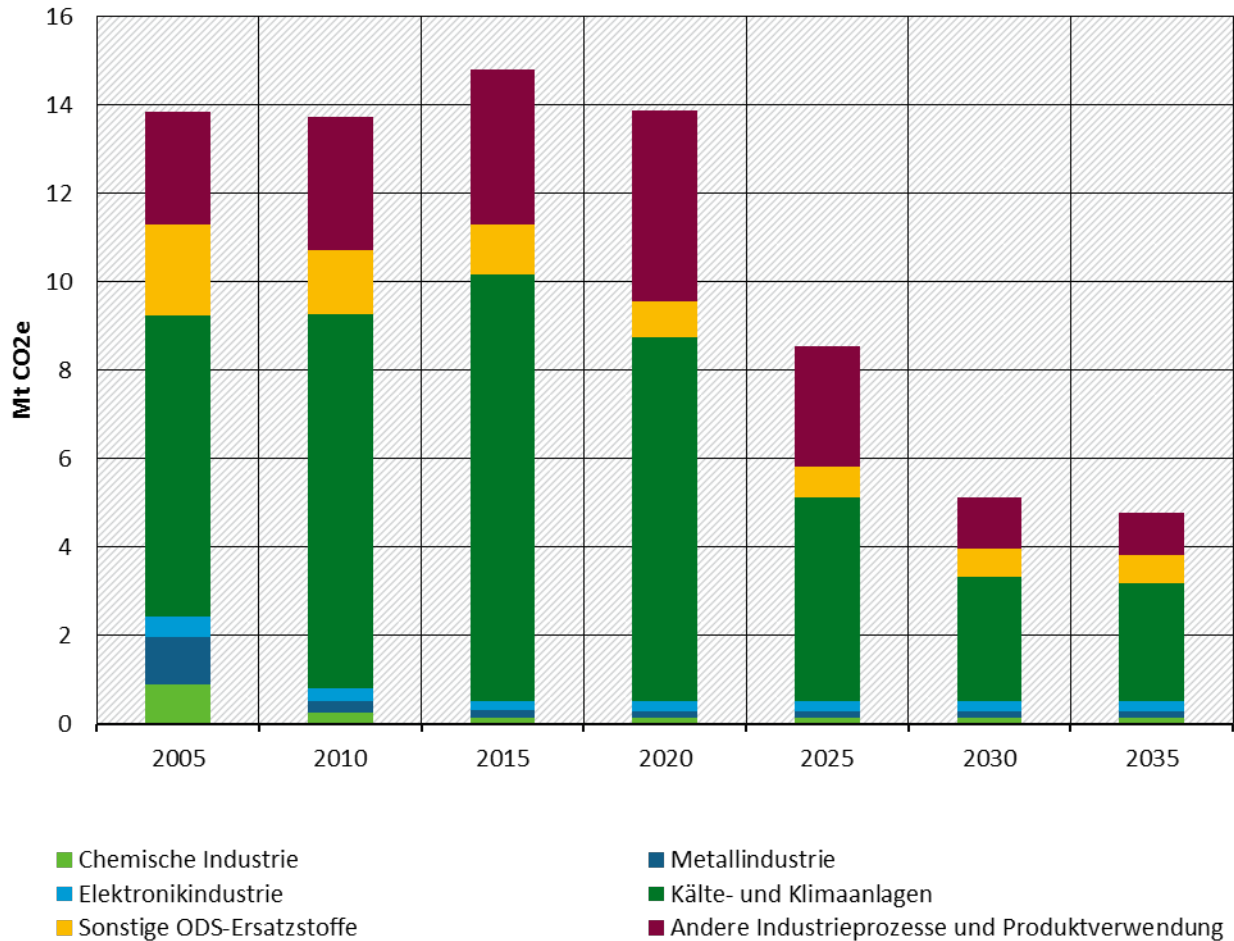
Anmerkung: Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A-5-1 im Anhang

Die zusätzlichen Minderungen von 0,2 Mt CO₂e (2020) bzw. 2 Mt CO₂e (2025) entsprechen etwa 1 % (2020) bzw. 19 % (2025) der gesamten für das MMS modellierten F-Gas-Emissionen (vgl. Tabelle 3-120, Seite 298).

Emissionsentwicklung

Mit dem beschriebenen methodischen Ansatz ergibt sich für das Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS) die in Abbildung 3-21 und Tabelle 3-120 (Seite 301) dargestellte Emissionsentwicklung für die fluorierten Treibhausgase.

Abbildung 3-21: Entwicklung der Emissionen von F-Gasen im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS)



Anmerkung: ODS: unter dem Montreal-Protokoll adressierte Ozon abbauende Stoffe (ozone depleting substances). Einsatzfelder von HFKW als „sonstige“ (d.h. über Kälte- und Klimaanlage hinaus) ODS-Ersatzstoffe sind vor allem Schaumproduktion, Feuerlöschanlagen, medizinische Inhalationssprays und andere Aerosole.
Emissionen aus „anderen“ Industrieprozessen und Produktanwendung sind bis 2025 dominiert von SF₆-Emissionen aus in der Vergangenheit verbauten Schallschutzfenstern

Quelle: 2005 - 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 3-122: Entwicklung der Emissionen an fluorierten Treibhausgasen im MWMS 2005-2035

Quellgruppe und Gase		2005	2010	2014	2015	2020	2025	2030	2035
		Mt CO ₂ e							
Chemische Industrie	HFKW, FKW und SF ₆ aus fluorchemischer 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 ₆ in Aluminium- und Magnesium-Gießereien	1,1	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Elektronikindustrie	FKW, SF ₆ , NF ₃ und HFKW aus Halbleiter- und Photovoltaikproduktion	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Kälte- und Klimaanlageanlagen	HFKW und geringe Mengen FKW aus stationären und mobilen Kälte- und Klimaanlageanlagen, inklusive Wärmepumpen	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 ₆ , HFKW und FKW aus Schallschutzfenstern, Teilchenbeschleunigern, Produktion optischer Glasfasern, Spürgas, Reifenbefüllung, Radaranlagen, ORC-Anlagen, Schweißen, Sportschuhen, Lösemittelanwendungen und sonstigen medizinischen und kosmetischen Anwendungen	2,6	3,0	3,3	3,5	4,3	2,7	1,2	1,0
Summe fluorierte Treibhausgase		13,9	13,7	14,6	14,8	13,9	8,6	5,1	4,8

Quelle: 2005 - 2014: (UBA 2016a); 2015 - 2035: Berechnungen des Öko-Instituts

3.1.11.4 Ergebnisse der Projektion des Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario

Die Emissionen fluorierter Treibhausgase im Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (MEMS) entsprechen denen im Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS).

3.1.11.5 Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Vergleich der Szenarien

Tabelle 3-121 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/MEMS auf ca. 5 Mt CO₂e. Dies entspricht einer Reduktion von knapp 72 % gegenüber 1995, dem Basisjahr für F-Gas-Emissionen unter dem Kyoto-Protokoll. Im Jahr 2020 liegen die Emissionen im MMS und MWMS/MEMS bei rund 14 Mt CO₂e, was einem Rückgang von ca. 17 %-18 % im Vergleich zum Jahr 1995 entspricht.

Betrachtet man die verschiedenen Gase bzw. Gasgruppen, ist zu erkennen, dass die historischen Emissionen 1995 bis 2014 insbesondere für FKW, SF₆ und den nicht spezifizierten Mix teilweise massiv gesunken sind. Dem gegenüber war für HFKW ein rasantes Anwachsen der Emissionen zu beobachten: HFKW-Emissionen, die zu fast 90 % aus der Verwendung als Kältemittel in Kälte- und Klimaanlageanlagen stammen, haben sich von 1995 bis 2014 mehr als vervierfacht. Deshalb sind auch insbesondere die

HFKW-Emissionen Ziel aktueller Emissionsminderungsmaßnahmen und Politikinstrumente, wie dem EU-weiten HFKW-Phase down, welcher der hauptsächliche Treiber der in den Szenarien erwarteten zukünftigen Emissionsreduktionen ist. So sinken die HFKW-Emissionen in allen betrachteten Szenarien bis 2015 auf etwa ein Drittel der Emissionen von 2014, bzw. auf ein Niveau von ca. 30 % über den HFKW-Emissionen von 1995.

Die größte Quelle der SF₆-Emissionen waren Schallschutzfenster. Nachdem die Neuverwendung in Fenstern seit 2008 verboten ist, werden diese Emissionen aus dem Bestand weiter zurückgehen und nach 2030 völlig ausbleiben. Es verbleiben ab 2035 SF₆-Emissionen auf einem Niveau von etwa 85 % unter 1995, vor allem aus elektrischen Schaltanlagen und einer Mehrzahl weiterer industrieller Spezialanwendungen. Emissionen an FKW sind bereits bis 2014 um etwa 90% gegenüber 1995 gesunken und sind zukünftig von geringerer quantitativer Bedeutung. Emissionen des nicht spezifizierten Mixes an F-Gasen wurden in der Vergangenheit hauptsächlich in der chemischen Industrie für die Produktion fluorierter Chemikalien bilanziert. Diese sind bis 2014 um 97 % gegenüber 1995 gesunken und spielen in der Zukunft ebenfalls nur eine untergeordnete Rolle. Auch NF₃-Emissionen sind mit deutlich unter 1 % der F-Gas-Emission quantitativ unbedeutend.

Tabelle 3-123: Entwicklung der Emissionen an fluorierten Treibhausgasen aus Industrieprozessen und Produktverwendung zwischen 1995 und 2035 im Vergleich der Szenarien

	1995	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ 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
MEMS					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
MEMS					0,2	0,2	0,2	0,2
SF₆-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
MEMS					4,3	2,7	1,2	1,0
NF₃-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
MEMS					0,0	0,0	0,0	0,0
Nicht spezifizierter Mix								

	1995	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
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
MEMS					0,2	0,2	0,2	0,2
Summe F-Gase								
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
MEMS					13,9	8,6	5,1	4,8
Summe F-Gase	Veränderung ab 1995 ^a 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
MEMS					-18,0	-49,5	-69,8	-71,8
Summe F-Gase	Veränderung ab 2005 in %							
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
MEMS					0,2	-38,3	-63,0	-65,5

Anmerkung: ^a Für die F-Gase HFKW, FKW, SF₆, NF₃ sowie nicht spezifizierter Mix ist 1995 das Basisjahr im Rahmen der Verpflichtungen des Kyoto-Protokolls.

Quelle: UBA (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 (Rösemann et al. voraussichtlich 2017).

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. Für die hier erstellten Szenarien des Projektionsberichts werden die Aktivitätsumfänge 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.

Das MEM-Szenario wurde durch das Öko-Institut berechnet. Dazu wurde das landwirtschaftliche Modell des Öko-Instituts eingesetzt. Die Berechnungen greifen auf die Rahmendaten des MMS und MWMS zurück und verlinken zusätzlich die Entwicklungen der Flächen aus dem LULUCF Sektor mit der Emissionsberechnung des Landwirtschaftssektors. Die Berechnungen erfolgten mit dem Landwirtschaftsmodell des Öko-Instituts.

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 3-124 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 3-125).

Tabelle 3-124: 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 3-125: 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 3-126 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 Düngewirtschaft aufgrund eines erhöhten Anteils, der in Biogasanlagen genutzt wird, kompensiert. Nach 2020 kommt der Rückgang der Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen hinzu.

Tabelle 3-126: Entwicklung der Methanemissionen in der Landwirtschaft 1990 – 2035 in kt CH₄

	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
Düngewirtschaft	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
Gesamte Methanemissionen	1.709,5	1.282,2	1.272,3	1.299,1	1.300,0	1.299,7	1.281,9	1.272,0
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 3-127: 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 3-128: Entwicklung der Lachgasemissionen in der Landwirtschaft 1990-2035 in kt N₂O

	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
Vergärung von Energiepflanzen	0,0	0,3	0,8	1,0	0,9	0,9	0,6	0,5
Gesamte Lachgasemissionen	113,6	98,2	96,9	105,5	103,4	103,5	101,0	99,6
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 3-129: Entwicklung der Kohlendioxidemissionen in der Landwirtschaft 1990-2035 in kt CO₂

	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
Gesamte CO₂ Emissionen	3.184	2.325	2.325	2.940	2.975	2.975	2.975	2.975
ggü. 1990 in %					-6,6 %	-6,6 %	-6,6 %	-6,6 %

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
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 CO₂-Emissionen aus der Harnstoffanwendung und Kalkung sinken gegenüber 1990 um knapp 7 %, gegenüber 2005 ergibt sich ein Anstieg um etwa 28 %.

Tabelle 3-130: Entwicklung der Methan-, Lachgas- und Kohlendioxidemissionen in der Landwirtschaft 1990-2035 in kt CO₂-Äquivalenten

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	kt CO ₂ e							
CH ₄ Emissionen	42.737	32.055	31.807	32.479	32.500	32.494	32.049	31.800
N ₂ O Emissionen	33.849	29.250	28.882	31.445	30.800	30.833	30.091	29.677
CO ₂ Emissionen	3.184	2.325	2.325	2.940	2.975	2.975	2.975	2.975
Gesamtemissionen	79.770	63.631	63.015	66.836	66.276	66.302	65.115	64.453
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 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 3-131 beschreibt die Annahmen des OMS für die untersuchten Einzelmaßnahmen.

Tabelle 3-131: Ausgestaltung des Vergleichsszenarios (OMS) zur Quantifizierung der Einzelmaßnahmenwirkung

Einzelmaßnahme	Ausgestaltung Vergleichsszenario (Ohne-Maßnahme-Szenario)
„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 3-132 zeigt die direkten Minderungen an Treibhausgasemissionen, die aus der Umsetzung der Einzelmaßnahmen resultieren.

Tabelle 3-132: Minderungswirkungen der Einzelmaßnahmen

Maßnahme	Instrumententyp	2020	2025	2030	2035
		kt CO ₂ e			
Mehr Gülle in Biogasanlagen	E	0	531	531	531
Ausbau Ökolandbau	E	34	68	102	136
Summe der Einzelmaßnahmen		34	599	633	666

Quelle: Berechnungen des Thünen-Instituts

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

3.1.12.3 Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios

Im MWMS geht die Mineraldüngereinsatzmenge unter der Annahme, dass die Novelle der Düngerverordnung zu einer deutlichen Erhöhung der N-Ausnutzung in der landwirtschaftlichen Produktion und einer Reduzierung von Verlusten führt, gegenüber dem MMS um 20 % zurück (Tabelle 3-133). 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 3-133: 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 3-134). Der Rückgang des N-Mineraldüngereinsatzes hat auch Auswirkungen auf die CO₂-Freisetzung aus der Harnstoffanwendung. Da mit dem Mineraldünger z.B. im Fall von Kalkammonsalpeter, auch Kalk ausgebracht wird, geht auch die CO₂-Emission aus der Kalkanwendung etwas zurück (Tabelle 3-135).

Tabelle 3-134: Entwicklung der Lachgasemissionen in der Landwirtschaft 1990-2035 in kt N₂O

	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
Gesamte Lachgasemissionen	113,6	98,2	96,9	105,5	97,1	97,6	95,0	93,6

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
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 3-135: Entwicklung der Kohlendioxidemissionen in der Landwirtschaft 1990-2035 in kt CO₂

	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
Gesamte CO₂ Emissionen	3.184	2.325	2.325	2.940	2.775	2.775	2.775	2.775
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 3-136: Entwicklung der Methan-, Lachgas- und Kohlendioxidemissionen in der Landwirtschaft 1990-2035 in kt CO₂e

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	kt CO ₂ e							
CH ₄ Emissionen	42.737	32.055	31.807	32.479	32.500	32.494	32.049	31.800
N ₂ O Emissionen	33.849	29.250	28.882	31.445	28.927	29.072	28.319	27.899
CO ₂ Emissionen	3.184	2.325	2.325	2.940	2.775	2.775	2.775	2.775
Gesamtemissionen	79.770	63.631	63.015	66.863	64.202	64.340	63.142	62.474
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 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 3-137 beschreibt die Annahmen des OMS für die untersuchten Einzelmaßnahmen.

Tabelle 3-137: 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. Der 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 3-138 zeigt die direkten Minderungen an Treibhausgasemissionen, die aus der Umsetzung der Einzelmaßnahmen resultieren.

Tabelle 3-138: Minderungswirkungen der Einzelmaßnahmen

Maßnahme	Instrumententyp	2020	2025	2030	2035
		kt CO ₂ e			
Novelle der Düngeverordnung	R	2.192	2.192	2.192	2.192
Umsetzung NERC-Richtlinie	R	433	546	788	705
Summe der Einzelmaßnahmen		2.625	2.738	2.980	2.897

Quelle: Berechnungen des Thünen-Instituts

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

3.1.12.4 Ergebnisse der Projektion des Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenarios (MEMS)

Im MEMS-Szenario werden vor allem durch den Einsatz aller derzeitig verfügbaren technischen Optionen das Wirtschaftsdüngermanagement verbessert und der Düngemiteleinsatz optimiert und so weitere Emissionsreduktionen erzielt. Die erhöhte Vergärung von Wirtschaftsdünger in Zusammenhang mit einer gasdichten Lagerung aller Gärreste sind die einzigen Maßnahmen die die Tierhaltung adressieren. Alle weiteren Maßnahmen zielen auf eine Reduktion der N₂O Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden ab. Indirekt führt auch der Rückgang der landwirtschaftlichen Nutzfläche zu einer Abnahme der N₂O Emissionen, da auf diesen Flächen keine Stickstoffdünger eingesetzt werden müssen und keine Erntereste anfallen. Zusätzliche Minderungen werden durch die Nutzungsaufgabe der landwirtschaftlichen Produktion auf organischen Böden erzielt.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Entwicklung der Aktivitätsdaten im Bereich der landwirtschaftlichen Böden. Bis zum Jahr 2035 sinkt der Gesamtstickstoffeinsatz auf landwirtschaftlichen Böden. Da der Wirtschaftsdüngeranfall ohne eine Abstockung der Tierbestände stabil bleibt, erfolgt der Rückgang des Stickstoffeintrags vor allem über einen sinkenden Mineraldüngereinsatz. Der Rückgang der Erntereste ist auf eine sinkende landwirtschaftliche Nutzfläche (Flächenverbrauch und Aufgabe auf organischen Böden) zurückzuführen. Im Vergleich zum Jahr 2010 sinkt der Stickstoffeinsatz bis zum Jahr 2035 um 15 %.

Tabelle 3-139: Entwicklung ausgewählter Aktivitätsdaten für landwirtschaftliche Böden in kt N / Jahr im MEMS

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Mineraldüngereinsatz	2.164	1.778	1.569	1.675	1.260	1.135	1.012	1.011

Wirtschaftsdünger	1152	643	946	998	1.040	1.040	1.040	1.040
Gärreste	0	45	165	288	290	278	191	142
Ernterückstände	484	586	571	688	601	590	579	568
Gesamt N-Eintrag	3.800	3.353	3.251	3.650	3.165	3.044	2.823	2.762

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 Öko-Instituts

Durch den reduzierten N-Mineraldüngereinsatz, den Rückgang der landwirtschaftlichen Nutzfläche, die Wiedervernässung der organischen Böden und den Einsatz der Inhibitoren (Reduktion der direkten Lachgasemissionen aus Mineraldüngern und flüssigen Wirtschaftsdüngern um 25 %) gehen die Lachgasemissionen bis 2035 gegenüber 1990 um 36,5 % zurück, gegenüber 2005 liegt der Rückgang bei 26,6 % (Tabelle 3-140). Die Reduktion der N₂O Emissionen aus dem Wirtschaftsdüngermanagement ist auf den Ausbau der Vergärung des Wirtschaftsdüngers und die gasdichte Lagerung der Gärreste zurückzuführen.

Tabelle 3-140: Entwicklung der Lachgasemissionen in der Landwirtschaft 1990-2035 in kt N₂O im MEMS

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
Wirtschaftsdüngermanagement	17,1	13,4	13,2	13,0	12,6	12,2	11,8	11,4
Landwirtschaftliche Böden	96,5	84,4	82,9	91,5	81,2	69,5	63,4	60,3
Vergärung von Energiepflanzen	0,0	0,3	0,8	0,8	0,9	0,9	0,6	0,5
Gesamte Lachgasemissionen	113,6	98,2	96,9	105,5	94,7	82,6	75,8	72,1
ggü. 1990 in %					- 16,6%	-27,3 %	-33,3 %	-36,5 %
ggü. 2005 in %					-3,6 %	-15,9 %	-22,8 %	-26,6 %

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 Öko-Instituts

Die Reduktion der Methanemissionen basiert auf der Erhöhung der Wirtschaftsdüngervergärung. Die Annahmen zur Entwicklung der Tierbestände und der Entwicklung der Energiepflanzen in Biogasanlagen wurden aus dem MWMS, bzw. dem MMS übernommen. Weitere Emissionsreduktionen sind in diesem Bereich nur über einen Abbau der Wiederkäuerbestände zu erreichen und wurden im MEMS nicht berücksichtigt. Im Vergleich zum Jahr 1990 reduzieren sich die Methanemissionen bis zum Jahr 2035 um 29,4 %. Gegenüber dem Jahr 2005 fällt die Reduktion mit 5,8 % nur noch gering aus.

Tabelle 3-141: Entwicklung der Methanemissionen in der Landwirtschaft 1990 – 2035 in kt CH₄

	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	225,8	204,1	182,5	160,8
Vergärung von Energiepflanzen	0,0	9,8	32,4	54,0	58,9	56,5	38,7	28,7
Gesamte Methanemissionen	1.709,5	1.282,2	1.272,3	1.299,1	1.291,6	1.278,4	1.238,9	1.207,3
ggü. 1990 in %					-24,4 %	-25,2 %	-27,5 %	-29,4 %

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
ggü. 2005 in %					0,7 %	-0,3 %	-3,4 %	-5,8 %

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 Öko-Instituts

Bis zum Jahr 2035 sinken die Emissionen aus der Landwirtschaft auf 54,4 Mt CO₂-Äquivalent. Das entspricht einer Reduktion von 31,8 % ggü. 1990 und ggü. 2005 einer Reduktion von 14,5 %. Im Jahr 2030 werden die Emissionen auf 56,3 Mt CO₂-Äquivalent gemindert. Unter Berücksichtigung der energiebedingten Emissionen der Landwirtschaft aus der zu berichtenden Quellgruppe 1.A.4.c (CRF Table 1.A(a)s4) werden damit im MEMS die Ziele des Klimaschutzplans erreicht. Für die Fortschreibung und Zielerreichung bis ins Jahr 2050 werden dann andere Minderungsoptionen nötig, vor allem die Abstockung der Tierbestände.

Tabelle 3-142: Entwicklung der Methan-, Lachgas- und Kohlendioxidemissionen in der Landwirtschaft 1990-2035 in kt CO₂e

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	kt CO ₂ e							
CH ₄ Emissionen	42.737	32.055	31.807	32.479	32.291	31.959	30.972	30.183
N ₂ O Emissionen	33.849	29.250	28.882	31.445	28.216	24.600	22.590	21.478
CO ₂ Emissionen	3.184	2.325	2.325	2.940	2.775	2.775	2.775	2.775
Gesamtemissionen	79.770	63.631	63.015	66.863	63.282	59.334	56.337	54.436
ggü. 1990 in %					-20,7 %	-25,6 %	-29,4 %	-31,8 %
ggü. 2005 in %					-0,5 %	-6,8 %	-11,5 %	-14,5 %

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 Öko-Instituts

3.1.12.5 Quantifizierung der Einzelmaßnahmenwirkung

Im MEM-Szenario werden für die Landwirtschaft vor allem die bestehenden Maßnahmen erweitert und weitere Maßnahmen angenommen. Diese beinhalten die weitere Verschärfung der Düngeverordnung, den Einsatz von Nitrifikations-Inhibitoren, die verstärkte Vergärung von Wirtschaftsdünger, die Wiedervernässung von organischen Böden und den weiteren Ausbau des Ökolandbaus. Die Abschätzung der Wirkung der Einzelmaßnahmen des MEMS erfolgt gegenüber dem MMS.

Überschneidungen z.B. durch die Wechselwirkungen der Maßnahmen im Bereich des Stickstoffeintrages wurden in den Szenarien bereits berücksichtigt. Durch eine Verschärfung der Grenzwerte für Stickstoffüberschüsse auf 70 kg N/ha sinken vor allem die Reduktionswirkungen des Ökolandbaus und die des Inhibitoren Einsatzes. Allerdings besteht vor allem in Bezug auf die Wirkungen des Inhibitoren Einsatzes noch Forschungsbedarf, wodurch ggf. Überschneidungseffekte derzeit noch nicht vollständig berücksichtigt werden können.

Die Quantifizierung der Maßnahmenwirkung der Düngeverordnung, des Inhibitoren Einsatzes und des Ökolandbaus wurden zunächst quantifiziert ohne einen Rückgang der landwirtschaftlichen Nutzfläche anzunehmen. Erst im letzten Schritt wurde die landwirtschaftliche Nutzfläche entsprechend der Annahmen des LULUCF Modells reduziert und die Emissionsreduktionen ausgewiesen.

Die folgende Tabelle 3-143 stellt die Minderungswirkungen der eingesetzten Maßnahmen des MEMS dar.

Tabelle 3-143: Minderungswirkungen der Einzelmaßnahmen im Landwirtschaftssektor

Maßnahme	Instrumententyp	2020	2025	2030	2035
		Mio. t CO ₂ e			
Mehr Gülle in Biogasanlagen	E	0,2	0,6	1,2	1,9
Verschärfung der Düngeverordnung		2,0	2,3	2,6	2,2
Einsatz von Inhibitoren		-	2,2	2,2	2,2
Wiedervernässung von Mooren (N ₂ O)		0,03	0,6	1,1	1,7
Ausbau Ökolandbau	E	0,2	0,3	0,5	0,6
Flächenrückgang		0,03	0,4	0,7	1,0
Summe der Einzelmaßnahmen		2,5	6,4	8,3	9,6

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

Anmerkung: Weitere Emissionsreduktionen ggü. dem MMS wurden durch die Übernahme von Annahmen zur Entwicklung des Harnstoffanwendung und Kalkung aus dem MWMS und werden nicht extra ausgewiesen.

Weitere Emissionsreduktionen im Vergleich zum MMS sind auf den Rückgang der landwirtschaftlichen Nutzfläche zurückzuführen. Den größten Anteil hat der Rückgang der landwirtschaftlichen Nutzfläche durch Aufgabe der landwirtschaftlichen Nutzung auf organischen Böden. Bis zum Jahr 2035 gehen in diesem Szenario ca. 1 Mio Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche verloren. Neben Fläche für Infrastrukturmaßnahmen für Verkehr und Siedlungen trägt vor allem die aus der Nutzung genommene Fläche der organischen Böden von ca. 750.000 ha zum Rückgang der landwirtschaftlichen Nutzfläche bei.

3.1.12.6 Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen – Vergleich der Szenarien

Bis zum Jahr 2014 wurden die Emissionen der Landwirtschaft um gut 16 % gegenüber 1990 reduziert, waren allerdings 5 % höher als 2005. Dies lässt sich vor allem auf einen Tierbestandsabbau nach der deutschen Wiedervereinigung und auf eine verbesserte Stickstoffnutzung zurückführen. Bis zum Jahr 2020 sind im MMS nur noch geringfügige Emissionsreduktionen zu erwarten (-17 % ggü. 1990), während im MWMS die Emissionen um knapp 20 % gegenüber 1990 sinken, da eine Verschärfung der Grenzwerte für Stickstoffüberschüsse im Rahmen der Düngeverordnung umgesetzt wird. Darüber hinausgehend werden bis 2020 auch im MEMS kaum weitere Rückgänge der Emissionen erwartet. Damit beträgt der Rückgang im MEMS im Jahr 2020 20,7 % ggü. 1990. Bis zum Jahr 2035 werden im MMS und im MWMS nur noch geringe Emissionsminderungen von 19 % im MMS, 22 % im MWMS gegenüber 1990 erwartet, die auf einer höheren Güllevergärung, dem weiteren Ausbau des Ökolandbaus und der Umsetzung der NEC Richtlinie beruhen. Erst im MEMS werden weitere Maßnahmen zur Emissionsminderung eingeleitet, die die Treibhausgase aus der Landwirtschaft ggü. 1990 um 31,8 % verringern. Dafür müssen allerdings bisher verfügbare Minderungsoptionen im technischen und im Managementbereich fast vollständig ausgeschöpft werden. Zusätzlich geht ein erheblicher Teil (ca. 6 %) landwirtschaftlicher Produktionsfläche bereits im MEMS bis zum Jahr 2035 aus der Nutzung. Im Hinblick auf das bestehende Langfristziel im Jahr 2050 fehlt damit der Spielraum für weitere Emissionsreduktionen. Damit ist absehbar, dass Emissionsreduktionen langfristig im Bereich der Tierhaltung stattfinden müssen, und eine Abstockung der Tierbestände zur Zielerreichung erscheint unvermeidbar. Dieser Schritt muss frühzeitig vermittelt, diskutiert und vorbereitet werden.

Tabelle 3-144: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des Sektors Landwirtschaft zwischen 1990 und 2035 im Vergleich der Szenarien

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
CO₂-Emissionen								
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
MEMS					2,8	2,8	2,8	2,8
CH₄-Emissionen								
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
MEMS					32,3	32,0	31,0	30,2
N₂O-Emissionen								
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
MEMS					28,2	24,6	22,6	21,5
Summe CO₂+CH₄+N₂O								
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
MEMS					63,3	59,3	56,3	54,4
Summe CO₂+CH₄+N₂O	Veränderung ab 1990 in %							
Entwicklung 1990 – 2014		-20,2	-21,0	-16,2				
MMS					-16,9	-16,9	-18,4	-19,2
MWMS					-19,5	-19,3	-20,8	-21,7
MEMS					-20,7	-25,6	-29,4	-31,8
Summe CO₂+CH₄+N₂O	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
MEMS					-0,5	-6,8	-11,5	-14,5

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

3.1.13 LULUCF

3.1.13.1 Methodik

Aufgrund der Projektkonstellation wurden das MMS vom Thünen-Institut und das MEMS vom Öko-Institut berechnet. Berechnungen zum MWMS fanden durch das Thünen-Institut nicht statt. Im Folgenden werden die angewandten Methoden beschrieben.

3.1.13.1.1 Methodik zur Berechnung des MMS (Thünen-Institut)

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 2.7.9 beschrieben sind. Daraus ergeben sich entsprechend die Flächen für die Verbleibkategorien (Remaining) (UBA 2017b)¹⁰⁹.

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 Rohholzpotezial 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.

3.1.13.1.2 Methodik zur Berechnung des Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (Öko-Institut)

Im Grundzug wurde der gleiche methodische Ansatz gewählt wie zur Berechnung des MMS. Da vom Öko-Institut aber eigene Modelle verwendet werden, ist es unvermeidlich, dass sich die Ergebnisse z.T. bereits durch die Modellalgorithmen unterscheiden.

Für die Flächenkategorie Wald kam beim Öko-Institut das Einzelbaum-Modell FABio¹¹⁰ zum Einsatz. Dieses Modell berechnet – ähnlich wie WEHAM – die Entwicklung der Waldbestände an Erhebungspunkten der Bundeswaldinventur. Mit FABio wurde die Entwicklung der Biomassevorräte im Wald ermittelt und als Emissionsfaktor umgerechnet und in das LULUCF-Modell des Öko-Instituts (siehe

¹⁰⁹ Der Nationale Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2015 wird am 15. April unter UNFCCC veröffentlicht (<http://unfccc.int/2860.php>).

¹¹⁰ Siehe die Beschreibung des Modells unter <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/FABio-Wald-Modellbeschreibung.pdf>.

Modellbeschreibung in Öko-Institut et al. 2015) integriert. Die Emissionsfaktoren für organische und mineralische Böden, der Streu und des Totholzes wurden als mittlerer Emissionsfaktor der Jahre 2011 bis 2015 fortgeschrieben.

Die Berechnungen der Emissionen der übrigen Landkategorien fanden im LULUCF-Modell des Öko-Instituts statt. Entsprechend der Maßnahmen wurden Flächenänderungskoeffizienten gezielt angepasst (z.B. erhöhte Flächenänderung von Ackerland zu wiedervernässten Flächen, Reduktion der Flächenänderung von Ackerland zu Dauergrünland). Für die Flächenänderungskoeffizienten, die nicht durch eine Maßnahme verändert wurden, wurde der Wert aus dem Jahr 2015 (NIR 2017) fortgeschrieben. Als Fortschreibung der Emissionsfaktoren wurde der Mittelwert der Jahre 2011 bis 2015 genutzt.

Auf Basis der Angaben des Thünen-Institut wurde das MMS durch das Öko-Institut nachgestellt (vgl. Angaben zu den Maßnahmen in Kapitel 2.7.9.1). Ein Vergleich der Ergebnisse zeigt insbesondere folgende Punkte:

- ▶ Die Flächenentwicklungen für Ackerland und Grünland unterscheiden sich zwischen Thünen-Institut und Öko-Institut um 2,3% (Ackerland) und 6% (Grünland). Dabei ist die Entwicklung bei den Berechnungen des Öko-Instituts durch stabilere Flächendaten mit geringeren Abnahmen des Ackerlands und geringeren Zunahmen des Grünlands gekennzeichnet. Die übrigen Flächenkategorien unterscheiden sich zwischen den beiden Berechnungen um 1,1% bei Siedlungsflächen, um 0,2% bei Waldflächen und um 0,1% bei Feuchtgebieten.
- ▶ Die Treibhausgasemissionen aller Flächenkategorien im Jahr 2035 – außer für die Waldflächen – weichen zwischen den Berechnungen des Thünen-Instituts und des Öko-Instituts um maximal 5,2 % (Feuchtgebiete) voneinander ab (Ackerland: 2,3%; Grünland: 4,4%; Siedlungen: 5,1%). In Anbetracht einer zu erwartenden Unsicherheit der historischen Daten im NIR von etwa 25% ist diese Abweichung tolerabel.
- ▶ Deutlich stärkere modellbedingte Abweichungen ergeben sich für die Flächenkategorie Wald (65,7%). Zum einen zeigt WEHAM stärkere Schwankungen der THG-Emissionen als FABio. Zum anderen berechnet WHEAM im MMS eine geringere THG-Senkenleistung. So lag die mittlere Senke im Wald für die 5-Jahres-Zeitscheiben von 2020 bis 2035 bei WEHAM bei -22,2 Mt CO₂e und bei FABio bei -26,5 Mt CO₂e (Differenz von -4,3 Mt CO₂e). Diese Abweichung ist bei den dargestellten Ergebnissen zu berücksichtigen.

3.1.13.2 Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios (Darstellung durch das Thünen-Institut)

Im unterstellten Szenario reduziert sich die Senkenwirkung der Wälder durch veränderte Holznutzung und Verschiebung des Altersklassenverhältnisses von ursprünglich ca. 75 Mt CO₂e in 1990 auf ein Minimum von ca. 11 Mt CO₂e in 2020 und steigt anschließend wieder etwas an. Basierend auf den oben genannten Annahmen werden die Projektionen für die Jahre ab 2016 abgeleitet. Die Tabelle 3-145 zeigt die historische und projizierte Entwicklung der Aktivitätsdaten und Tabelle 3-146 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 Mt CO₂ 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 (Tabelle 3-146).

Die Ergebnisse des MMS unterteilt nach den Treibhausgasen sind in Tabelle 3-145 bis Tabelle 3-149 dargestellt.

Tabelle 3-145: Entwicklung der Aktivitätsdaten [1.000 ha] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035 im MMS

	MMS							
	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
Σ LULUCF	35.780	35.780	35.780	35.780	35.780	35.780	35.780	35.780

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 3-146: Entwicklung der Treibhausgasemissionen [Mt CO₂e] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035 im MMS

	MMS							
	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	[Mt CO ₂ 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	0,163	0,196	0,213	0,229				
Σ LULUCF	-31,279	-12,110	-16,323	-14,977	29,081	11,169	19,174	18,707

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 3-147: Entwicklung der CO₂-Emissionen [Mt CO₂e] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035 im MMS

MMS: CO ₂ -Emissionen								
	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
[Mt CO ₂ e]								
Wald	-75,5392	-40,9079	-58,1736	-58,0050	-11,8224	-33,7386	-22,2061	-21,5845
Ackerland	12,4699	11,9312	13,8119	14,2015	13,4866	13,0956	11,8352	10,7618
Grünland	25,5381	24,1986	23,2424	22,2316	22,1861	22,2794	22,2193	22,1204
Feuchtgebiete	4,0643	4,1729	4,0100	38839	4,0850	4,1385	4,1918	4,2444
Siedlungen	1,8119	1,9242	3,1752	3,2992	3,1916	3,0249	2,7852	2,5444
Holzprodukte	-1,3304	-15,0436	-4,0660	-2,2999	-3,6805	0,7820	-10755	-6587
Σ LULUCF	-32,9854	-13,7247	-18,0001	-16,6888	27,4464	9,5817	17,7499	17,4278

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 3-148: Entwicklung der CH₄-Emissionen [Mt CH₄] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035 im MMS

MMS: CH ₄ -Emissionen								
	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
[Mt CH ₄]								
Wald	0,0008	0,0007	0,0008	0,0007	0,0008	0,0008	0,0008	0,0009
Ackerland	0,0078	0,0082	0,0094	0,0099	0,0099	0,0097	0,0095	0,0094
Grünland	0,0238	0,0228	0,0214	0,0207	0,0205	0,0204	0,0203	0,0201
Feuchtgebiete	0,0017	0,0016	0,0017	0,0017	0,0017	0,0018	0,0018	0,0019
Siedlungen	NO	NO	NO	NO	0,0017	0,0018	0,0019	0,0019
Sonstiges	0,0010	0,0013	0,0015	0,0017				
Σ LULUCF	0,0350	0,0346	0,0347	0,0346	0,0347	0,0345	0,0343	0,0341

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 3-149: Entwicklung der N₂O-Emissionen [Mt N₂O] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035 im MMS

MMS: N ₂ O-Emissionen								
	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
[Mt N ₂ O]								

	MMS: N ₂ O-Emissionen							
	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	[Mt N ₂ O]							
Wald	0,0008	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
Ackerland	0,0009	0,0007	0,0009	0,0010	0,0012	0,0009	0,0008	0,0004
Grünland	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0003	0,0004	0,0004	0,0004
Feuchtgebiete	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Siedlungen	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0007	0,0007	0,0007	0,0006
Sonstiges	0,0005	0,0005	0,0006	0,0006				
Σ LULUCF	0,0028	0,0025	0,0027	0,0028	0,0029	0,0026	0,0024	0,0019

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 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-Szenario (OMS). Im Rahmen des OMS wird unterstellt, dass die betroffene Einzelmaßnahme nicht existiert und somit keine Wirkung entfalten kann. Die folgende Tabelle 3-150 beschreibt die Annahmen des OMS für die untersuchten Einzelmaßnahmen.

Tabelle 3-150: Ausgestaltung des Vergleichsszenarios (OMS) zur Quantifizierung der Einzelmaßnahmenwirkung

Einzelmaßnahme	Ausgestaltung Vergleichsszenario (Ohne-Maßnahme-Szenario)
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 zurück.

Tabelle 3-151 zeigt die direkten Minderungen an Treibhausgasemissionen, die aus der Umsetzung der Einzelmaßnahmen resultieren.

Tabelle 3-151: Minderungswirkungen der Einzelmaßnahmen im MMS

Maßnahme	Instrumententyp	2020	2025	2030	2035
		kt CO ₂ e			
Verringerte Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr	P/R	-519,4	-1.072,9	-1.660,6	-2.283,0
Grünlanderhaltung	R	-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

Quelle: Berechnungen des Thünen-Instituts

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

3.1.13.3 Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios (Darstellung durch das Thünen-Institut)

Da es keine über das MMS hinausgehenden Maßnahmen gibt, decken sich die Ergebnisse mit dem MMS.

3.1.13.4 Ergebnisse der Projektion des Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (Darstellung durch das Öko-Institut)

Im MEMS finden insbesondere durch die Maßnahmen zum Schutz der Moorböden im Zeitraum von 2015 bis 2035 deutliche Änderungen der Flächennutzung statt. So nehmen bis zum Jahr 2035 die Ackerflächen um 487.000 ha und die Grünlandflächen um 667.000 ha ab. Im Gegenzug nehmen die Waldflächen um 248.000 ha und die Feuchtgebiete um 701.000 ha zu (Tabelle 3-152). Letzterer Wert beinhaltet 19.800 ha an wiedervernässten Feuchtgebieten aufgrund der Einstellung des Torfabbaus.

Tabelle 3-152: Entwicklung der Aktivitätsdaten [1.000 ha] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035 im MEMS

	MEMS							
	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	[1.000 ha]							
Wald	10.929	11.109	11.131	11.155	11.203	11.270	11.337	11.403
Ackerland	13.633	13.275	13.431	13.491	13.401	13.268	13.136	13.004
Grünland	7.345	7.149	6.785	6.534	6.433	6.244	6.055	5.866
Feuchtgebiete	710	712	724	729	736	967	1.198	1.430
Siedlungen	3.081	3.505	3.686	3.851	3.987	4.011	4.034	4.058
Sonstiges	82	30	22	20	19	19	18	18
Σ LULUCF	35.780	35.780	35.780	35.780	35.780	35.780	35.780	35.780

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 Öko-Instituts

Die Summe der Treibhausgasemissionen im MEMS steigt im LULUCF-Sektor im Jahr 2020 auf einen Wert von 10,5 Mt CO₂e, d.h. der LULUCF-Sektor stellt eine THG-Quelle dar. Ab 2025 sinkt dieser Wert aber wieder auf einen negativen Wert und im Jahr 2035 stellt der LULUCF-Sektor eine Senke von -27,1 Mt CO₂e (vgl. Tabelle 3-153 und Abbildung 3-22b). Diese Senkenleistung wird zum einen dadurch erreicht, dass durch die Maßnahmen im Waldbau die CO₂-Fixierung in Wäldern hoch bleibt. Zum anderen nehmen die THG-Emissionen der landwirtschaftlichen Flächen durch die Maßnahmen zum Moorschutz stark ab. So reduzieren sich die THG-Emissionen des Ackerlands von 14,7 Mt CO₂e in 2014 auf nur noch 2,9 Mt CO₂e in 2035. Die THG-Emissionen des Grünlands halbieren sich im gleichen Zeitraum von 22,7 Mt CO₂e auf 11,6 Mt CO₂e. Dem gegenüber steht eine leichte Zunahme der THG-Emissionen der Feuchtgebiete, da die wiedervernässten Acker- und Grünlandflächen leichte Methanemissionen zeigen (vgl. Tabelle 3-153 bis Tabelle 3-156 und Abbildung 3-22b).

Tabelle 3-153: Entwicklung der Treibhausgasemissionen [kt CO₂e] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035 im MEMS

	MEMS							
	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	[kt CO ₂ e]							
Wald	-75,288	-40,711	-57,995	-57,841	-31,580	-40,184	-45,914	-48,125

Ackerland	12,921	12,350	14,308	14,735	13,843	10,782	6,756	2,936
Grünland	26,133	24,772	23,780	22,753	22,929	19,324	15,502	11,638
Feuchtgebiete	4,128	4,235	4,074	3,949	4,020	4,218	4,422	5,640
Siedlungen	1,886	2,005	3,267	3,398	3,507	3,435	3,140	2,882
Holzprodukte	-1,330	-15,044	-4,066	-2,300	-2,124	-2,124	-2,124	-2,124
Sonstiges	0,163	0,196	0,213	0,229				
Σ LULUCF	-31,279	-12,110	-16,323	-14,977	10,595	-4,548	-18,218	-27,153

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 Öko-Instituts

Tabelle 3-154: Entwicklung der CO₂-Emissionen [kt CO₂e] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035 im MEMS

	MEMS: CO ₂ -Emissionen							
	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	[kt CO ₂ e]							
Wald	-75,5392	-40,9079	-58,1736	-58,0050	-31,746	-40,372	-46,125	-48,353
Ackerland	12,4699	11,9312	13,8119	14,2015	13,376	10,397	6,541	2,873
Grünland	25,5381	24,1986	23,2424	22,2316	22,314	18,794	15,057	11,278
Feuchtgebiete	4,0643	4,1729	4,0100	38839	4,139	3,343	2,554	2,903
Siedlungen	1,8119	1,9242	3,1752	3,2992	3,265	3,211	2,936	2,695
Holzprodukte	-1,3304	-15,0436	-4,0660	-2,2999	0,000	0,000	0,000	0,000
Sonstiges	-32,9854	-13,7247	-18,0001	-16,6888	-2,124	-2,124	-2,124	-2,124
Σ LULUCF	-32,9854	-13,7247	-18,0001	-16,6888	9,225	-6,751	-21,160	-30,728

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 Öko-Instituts

Tabelle 3-155: Entwicklung der CH₄-Emissionen [kt CO₂e] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035 im MEMS

	MEMS: CH ₄ -Emissionen							
	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	[kt CO ₂ e]							
Wald	0,0008	0,0007	0,0008	0,0007	0,0008	0,0009	0,0010	0,0012
Ackerland	0,0078	0,0082	0,0094	0,0099	0,0097	0,0073	0,0049	0,0025
Grünland	0,0238	0,0228	0,0214	0,0207	0,0204	0,0169	0,0134	0,0100
Feuchtgebiete	0,0017	0,0016	0,0017	0,0017	0,0018	0,0379	0,0741	0,1088
Siedlungen	NO	NO	NO	NO	0,0018	0,0019	0,0019	0,0019
Holzprodukte	0,0010	0,0013	0,0015	0,0017	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Σ LULUCF	0,0350	0,0346	0,0347	0,0346	0,0345	0,0649	0,0954	0,1244

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 Öko-Instituts

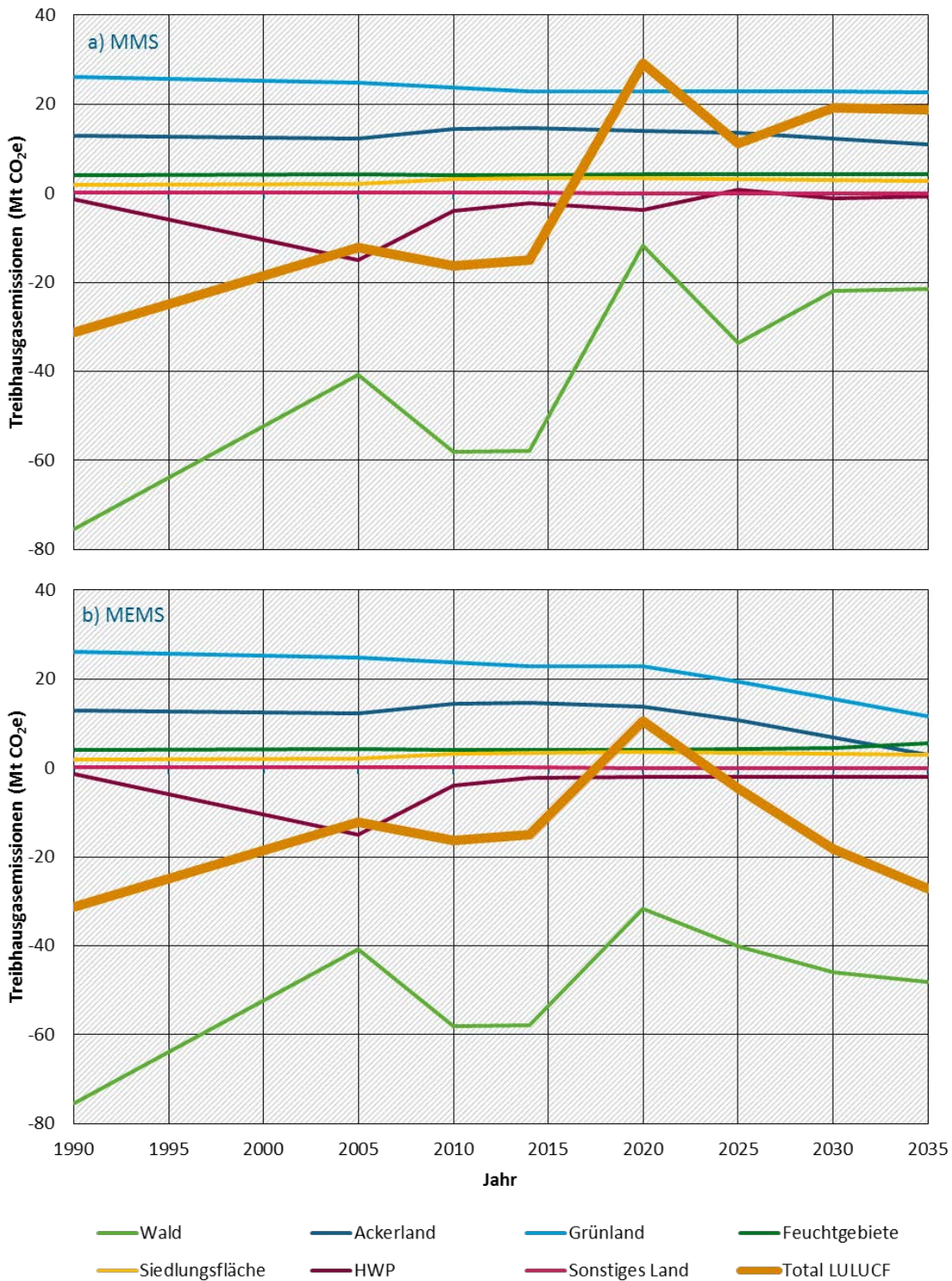
Tabelle 3-156: Entwicklung der N₂O-Emissionen [kt CO₂e] des LULUCF-Sektors von 1990 bis 2035 im MEMS

MEMS: N ₂ O-Emissionen								
	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	[kt CO ₂ e]							
Wald	0,0008	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005	0,0006	0,0006	0,0007
Ackerland	0,0009	0,0007	0,0009	0,0010	0,0008	0,0007	0,0003	0,0000
Grünland	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Feuchtgebiete	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	-0,0005	-0,0002	0,0001	0,0001
Siedlungen	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0007	0,0006	0,0005	0,0005
Holzprodukte	0,0005	0,0005	0,0006	0,0006	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Σ LULUCF	0,0028	0,0025	0,0027	0,0028	0,0017	0,0019	0,0019	0,0016

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 Öko-Instituts

Abbildung 3-22: Treibhausgasemissionen im LULUCF Sektor: a) Mit-Maßnahmen-Szenario; b) Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario



Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Berechnungen des Thünen-Instituts und des Öko-Instituts.

Mit den Maßnahmen im Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario werden gegenüber dem Mit-Maßnahmen-Szenario deutliche THG-Minderungen erreicht. Dies ist im direkten Vergleich der beiden Szenarien in Abbildung 3-22 a) und b) zu sehen. So bildet im MMS der LULUCF-Sektor in den Jahren

2020 bis 2035 eine THG-Quelle von 11,1 bis 29,0 Mt CO₂e. Im MEMS stellt der LULUCF-Sektor hingegen ab 2025 mit Werten von -4,5 bis -27,1 Mt CO₂e eine Senke dar. Dieses Ergebnis spiegelt sich auch in der Darstellung der Minderung der Treibhausgasemissionen im Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario gegenüber dem Mit-Maßnahmen-Szenario in Tabelle 3-157 und Abbildung 3-23 wieder. Die THG-Emissionen im MEMS sind bereits im Jahr 2020 mit einer Differenz von -14,3 Mt CO₂e deutlich niedriger als im MMS. Dieser Unterschied steigt bis zum Jahr 2035 auf -31,0 Mt CO₂e an.

3.1.13.4.1 Quantifizierung der Einzelmaßnahmenwirkung

Zu Beginn des modellierten Zeitraums wird die THG-Minderung im MEMS gegenüber dem MMS durch die Maßnahmen in der Waldbewirtschaftung erreicht. An dieser Stelle ist aber darauf zu verwiesen, dass durch die Verwendung unterschiedlicher Waldmodelle im MMS (WEHAM) und im MEMS (FABio) mit einer *per se* höheren Einschätzung der THG-Minderung von ca. 4 Mt CO₂e im MEMS (FABio) zu rechnen ist. Ab dem Jahr 2025 beginnen die Maßnahmen zum Schutz der Moorböden zu wirken (-5,5 Mt CO₂e) und ihre Wirkung steigt bis 2035 auf -16,6 Mt CO₂e an. Zudem liefert die Einstellung des Torfabbaus einen Minderungsbeitrag von -2,0 Mt CO₂e.

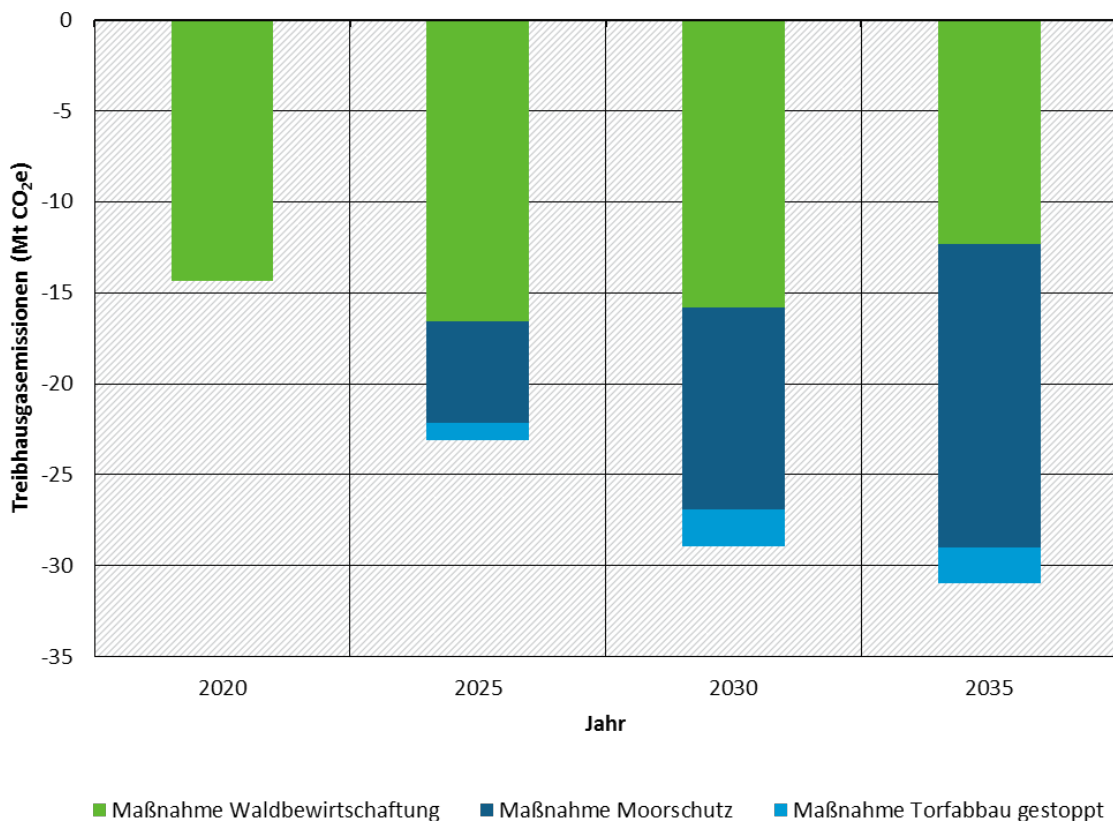
Tabelle 3-157: Minderungswirkungen der Einzelmaßnahmen im MEMS gegenüber dem MMS

	Instrumententyp	2020	2025	2030	2035
		[Mt CO ₂ e]			
Maßnahme Waldbewirtschaftung	R/P	-14,337	-16,586	-15,821	-12,345
Maßnahme Moorschutz	R/P	0	-5,544	-11,088	-16,632
Maßnahme Torfabbau gestoppt	R	0	-1,005	-1,999	-1,999
Σ LULUCF		-14,337	-23,135	-28,908	-30,976

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

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

Abbildung 3-23: Minderung der Treibhausgasemissionen im Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario gegenüber dem Mit-Maßnahmen-Szenario im LULUCF Sektor



Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts.

3.1.13.5 Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Vergleich der Szenarien

In Tabelle 3-158 sind für die drei Szenarien zusammenfassend die Ergebnisse zu den Treibhausgasen CO₂, CH₄ und N₂O sowie deren Summe als CO₂-Äquivalent (CO₂e) aufgelistet. Da es im LULUCF-Sektor für das MWMS keine über das MMS hinausgehenden Maßnahmen gibt, sind die LULUCF-Emissionen in beiden Szenarien gleich. Wie oben beschrieben werden im Szenario MEMS gegenüber dem Szenario MMS durch die Maßnahmen zum Moorschutz und zum Erhalt der Waldsenke deutliche CO₂-Minderungen erreicht. Die Methan-Emissionen steigen aber im MEMS leicht an, da mit der Wiedervernässung der Moorflächen erhöhte CH₄-Emissionen auftreten. In der Summe der Treibhausgase kann durch die Maßnahmen aber eine deutliche THG-Minderung bis 2035 erreicht werden (Tabelle 3-158).

Es ist zudem festzuhalten, dass eine anteilige Veränderung mit Bezug auf die Jahre 1990 und 2005 im LULUCF-Sektor nicht möglich ist, da die Emissionswerte von negativen auf positive Werte (bzw. umgekehrt) wechseln.

Tabelle 3-158: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des LULUCF-Sektors zwischen 1990 und 2035 im Vergleich der Szenarien

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
CO ₂ -Emissionen								

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
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
MEMS					9,2	-6,8	-21,2	-30,7
CH ₄ -Emissionen								
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
MEMS					0,9	1,6	2,4	3,1
N ₂ O-Emissionen								
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
MEMS					0,5	0,6	0,6	0,5
Summe CO₂+CH₄+N₂O								
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
MEMS					10,6	-4,5	-18,2	-27,2

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Modellrechnungen des Thünen-Instituts und des Öko-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 Deposition, 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 ausnahmsweise z.T. auch nach 2005 deponiert wurden sowie
- ▶ der heutigen Ablagerung von vorbehandelten Abfällen, insbesondere aus der Mechanischen biologischen Restabfallbehandlung (MBA).

Für die Deponierung von vorbehandelten Abfällen wurde angenommen, dass diese bezogen auf die Menge je Einwohner unverändert bleiben, in der Summe demzufolge entsprechend 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 ab¹¹¹.

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 bis 2018¹¹²
- b) Umsetzung der Vorgabe zur getrennten Erfassung von Bioabfällen gemäß Kreislaufwirtschaftsgesetz und Fortsetzung des Trends zur Erweiterung von Kompostierungsanlagen um eine Vergärungsstufe

Minderung der Methanemissionen aus Deponien durch Belüftung im Rahmen der Förderung durch die NKI-Kommunalrichtlinie in den Jahren 2013 bis 2018

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.

Das Programm sollte ursprünglich 2014 auslaufen, wurde dann aber bis einschließlich 2018 verlängert: Durch Weiterführung und Intensivierung 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. Diese Anzahl wurde jedoch nicht erreicht, siehe Kapitel 3.1.14.5.

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

¹¹¹ Für nähere Details zum Modell vgl. UBA (2016a).

¹¹² Im Vergleich zum Projektionsbericht der Bundesregierung 2017 wurde die Maßnahmenzuordnung im MMS erweitert: Es wurden alle durchgeführten und abzuschätzenden Deponiebelüftungsprojekte der NKI zwischen 2013 und 2018 betrachtet, da die Kommunalrichtlinie, unter welcher diese Maßnahmen gefördert werden, für diesen Zeitraum gilt und Projekte fördert. Dadurch erhöhten sich die Emissionsminderungen dieser Maßnahme im MMS.

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 einer Verlängerung des Förderprogramms in den Jahren 2019 bis 2025¹¹³
- 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 2019 bis 2025

2016 wurden 8 Projekte zur Belüftung bewilligt. Es wird angenommen, dass in den Jahren 2019 bis 2025 jeweils die gleiche Anzahl Projekte bewilligt werden wie im Jahr 2016.

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 um 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 1,68 kg (Reduktion um 40 %), 2025 auf 1,12 kg (Reduktion um 60 %) und ab 2030 auf 0,56 kg Methan je Mg Bioabfall (Reduktion um 80 %).

3.1.14.4 Annahmen und Parameter im MEMS

Im Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario wird angenommen, dass es gelingt, ab dem Jahr 2019 die NKI-Fördermaßnahme zur Deponiebelüftung so zu intensivieren, dass jährlich 12 statt 8 Deponieprojekte mit der durchschnittlichen CO₂e-Einsparung bewilligt werden können. Außerdem wird angenommen, dass die Förderung bis zum Jahr 2030 verlängert wird.

3.1.14.5 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 bis 2018

¹¹³ Analog zur Anpassung im MMS wurde auch für das MWMS die Maßnahmenzuordnung verändert. Im Vergleich zum Projektionsbericht der Bundesregierung 2017 wurden nun die Projekte im MWMS betrachtet, die durch eine abzusehende Novelle der Kommunalrichtlinie, die voraussichtlich ab 2019 gelten wird, gefördert werden. Dadurch erhöhten sich die Emissionsminderungen dieser Maßnahme im MWMS.

Eine systematische Auswertung der erreichbaren Reduktion der Methanemissionen liegt (noch) nicht vor. Auch konkretere Daten zu den bewilligten Deponieprojekten, aus denen erreichbare Reduktionen bilanziert werden könnten, liegen nicht vor.

Für die Bilanzen wurden daher die Angaben aus den Antragstellungen verwendet¹¹⁴. Demzufolge wurden von 2013 bis 2016 insgesamt 23 Projekte genehmigt. Auswertbare Angaben zur geplanten CO₂e-Einsparung lagen für 19 Projekte vor. Im Durchschnitt dieser 19 Projekte betrug die Einsparung je Deponieprojekt 66.240 Mg CO₂e über einen Zeitraum von 10 Jahren. Dieser Wert wird für die vier Projekte ohne auswertbare Angaben zu den Planeinsparungen angesetzt. Diese Annahmen zugrunde gelegt ergeben sich bezüglich der Anzahl bewilligter Projekte und Planeinsparungen folgende Daten:

- 2013: 6 Projekte, Planeinsparung gesamt 445.480 t CO₂e
- 2014: 5 Projekte, Planeinsparung gesamt 177.300 t CO₂e
- 2015: 4 Projekte, Planeinsparung gesamt 322.000 t CO₂e
- 2016: 8 Projekte, Planeinsparung gesamt 578.745 t CO₂e

Für die Jahre 2017 und 2018 wird die gleiche Anzahl an Projekten und damit die gleiche Planeinsparung angesetzt, wie für das Jahr 2016.

Für die Bilanz werden folgende Annahmen zugrunde gelegt¹¹⁵: Die ersten Einsparungen der in einem Jahr bewilligten Projekte werden jeweils 2 Jahre nach der Bewilligung realisiert. Die damit verbundenen Einsparungen an CO₂e werden dann innerhalb der kommenden 10 Jahre realisiert. Die letzte wirksame Reduktion ist im Jahr 2029 mit 57.874 t CO₂e zu verzeichnen.

Umsetzung der Vorgabe zur getrennten Erfassung von Bioabfällen gemäß Kreislaufwirtschaftsgesetz

Sowohl durch die Zunahme der Behandlungsmengen als auch durch die Umrüstung auf Vergärungsanlagen erhöhen sich die Gesamtemissionen aus der Bioabfallbehandlung proportional zur gesteigerten bzw. in die Vergärung umgelenkten Bioabfallmenge.

Tabelle 3-159: Bewertung der Einzelmaßnahmen im MMS im Sektor Abfallwirtschaft

Direkte Emissionsminderung [kt CO ₂]	Instrumententyp	Wirkungsbeginn	2020	2025	2030	2035
Deponiebelüftung (NKI)	E	2013	268,102	223,554	0	0
Getrennterfassung von Bioabfällen gemäß Kreislaufwirtschaftsgesetz	R	2016	-52,627	-105,253	-157,880	-157,880
Gesamt			215,475	118,301	-157,880	-157,880

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

Anmerkung: Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A-5-1 im Anhang; Abweichungen zu den Berechnungen im Projektionsbericht der Bundesregierung 2017 ergeben sich durch Neuberechnungen und die geänderte Maßnahmenzuordnung der Deponiebelüftung.

¹¹⁴ Die Daten wurden vom Projektträger Jülich zur Verfügung gestellt.

¹¹⁵ Um einen realistischen zeitlichen Verlauf der Wirkung der Maßnahmen zu bilanzieren, wären weitere Daten zu den einzelnen Projekten notwendig, die derzeit nicht verfügbar sind und aufwendige Berechnungen erforderlich, die im Rahmen dieses Projektes nicht möglich sind. Deshalb müssen hier vereinfachende, pauschale Annahmen zugrunde gelegt werden.

3.1.14.6 Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios

Minderung der Methanemissionen aus Deponien durch Belüftung im Rahmen der Verlängerung des Förderprogramms in den Jahren 2019 bis 2025

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.

Durch die Verlängerung der NKI-Förderung bis einschließlich 2025 werden die CO₂e-Einsparungen ab 2021 gegenüber dem MMS gesteigert und wirken sich bis 2036 aus.

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 6,9 kt (23 %), 2025 um 11,0 kt (35 %) und 2030 und 2035 um je 15,7 kt (47 %) zurück.

Tabelle 3-160: Bewertung der Einzelmaßnahmen im MWMS im Sektor Abfallwirtschaft

Direkte Emissionsminderung [kt CO ₂]	Instrumententyp	Wirkungsbeginn	2020	2025	2030	2035
Deponiebelüftung (NKI) - Fortführung	E	2021	0	289,373	405,122	115,749
Anpassung der TA-Luft	R	2016	171,481	275,842	392,616	392,616
Gesamt			171,481	565,2145	797,738	508,365

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

Anmerkung: Erklärung der Instrumententypen: Tabelle A-5-1 im Anhang; Abweichungen zu den Berechnungen im Projektionsbericht der Bundesregierung 2017 ergeben sich durch Neuberechnungen und die geänderte Maßnahmenzuordnung der Deponiebelüftung.

3.1.14.7 Ergebnisse der Projektion des Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenarios

Aus den oben beschriebenen Rechenregeln ergeben sich CO₂e-Einsparungen aus den bis 2030 bewilligten Deponiebelüftungsprojekten, die von 2021 bis 2032 wirksam werden und im vereinfachten Modell jeweils 10 Jahre wirksam sind, siehe Tabelle 3-161.

Tabelle 3-161: Bewertung der Einzelmaßnahmen im MEMS im Sektor Abfallwirtschaft als Differenz zum MMS

Direkte Emissionsminderung [kt CO ₂]	Instrumententyp	Wirkungsbeginn	2020	2025	2030	2035
Deponiebelüftung (NKI) - Intensivierung und Fortführung	E	2021	0	434,059	868,118	607,682
Gesamt			0	434,059	868,118	607,682

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

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

3.1.14.8 Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen im Vergleich der Szenarien

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 78 % bis

79 % gegenüber 1990 bzw. 60 % bis 62 % gegenüber 2005. Bis zum Jahr 2035 werden Emissionsminderungen von 86 % bis 89 % gegenüber 1990 bzw. 76 % bis 80 % gegenüber 2005 erzielt. Die künftigen Minderungen finden dabei ausschließlich bei den Methanemissionen statt, die 2020 um über 3 Mt CO₂e niedriger sind als 2014. Bis zum Jahr 2035 werden die Methanemissionen im MMS um 6,4 Mt CO₂e reduziert, im MEMS um weitere 1 Mt CO₂e.

Tabelle 3-162: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des Abfallsektors zwischen 1990 und 2035 im Vergleich der Szenarien

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
CH₄-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2014	37,0	20,4	13,8	10,7				
MMS					7,6	6,1	5,2	4,3
MWMS					7,4	5,5	4,4	3,8
MEMS					7,3	5,3	3,9	3,3
N₂O-Emissionen								
Entwicklung 1990 – 2014	1,0	0,8	0,8	0,8				
MMS					0,8	0,8	0,9	0,8
MWMS					0,8	0,8	0,9	0,8
MEMS					0,8	0,8	0,9	0,8
Summe CH₄+N₂O								
Entwicklung 1990 – 2014	38,0	21,2	14,6	11,6				
MMS					8,4	6,9	6,0	5,2
MWMS					8,3	6,3	5,2	4,6
MEMS					8,2	6,1	4,8	4,2
Summe CH₄+N₂O	Veränderung ab 1990 in %							
Entwicklung 1990 – 2014		-44,1	-61,4	-69,5				
MMS					-77,8	-81,8	-84,1	-86,4
MWMS					-78,2	-83,3	-86,3	-87,8
MEMS					-78,5	-83,9	-87,5	-89,1
Summe CH₄+N₂O	Veränderung ab 2005 in %							
Entwicklung 1990 – 2014			-31,1	-45,5				
MMS					-60,3	-67,5	-71,7	-75,7
MWMS					-61,1	-70,2	-75,4	-78,1
MEMS					-61,5	-71,3	-77,6	-80,4

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

Anmerkung: Abweichungen zu den Berechnungen im Projektionsbericht der Bundesregierung 2017 in den Jahren 2030 und 2035 ergeben sich durch Neuberechnungen und die geänderte Maßnahmenzuordnung der Deponiebelüftung.

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.¹¹⁶ 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.¹¹⁷ 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.¹¹⁸ 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.¹¹⁹

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

¹¹⁶ Insbesondere der absolute Beitrag biogener Energieträger ist in den ZSE-Daten für manche Jahre deutlich höher als in der Energiebilanz.

¹¹⁷ 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.

¹¹⁸ 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.

¹¹⁹ 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.

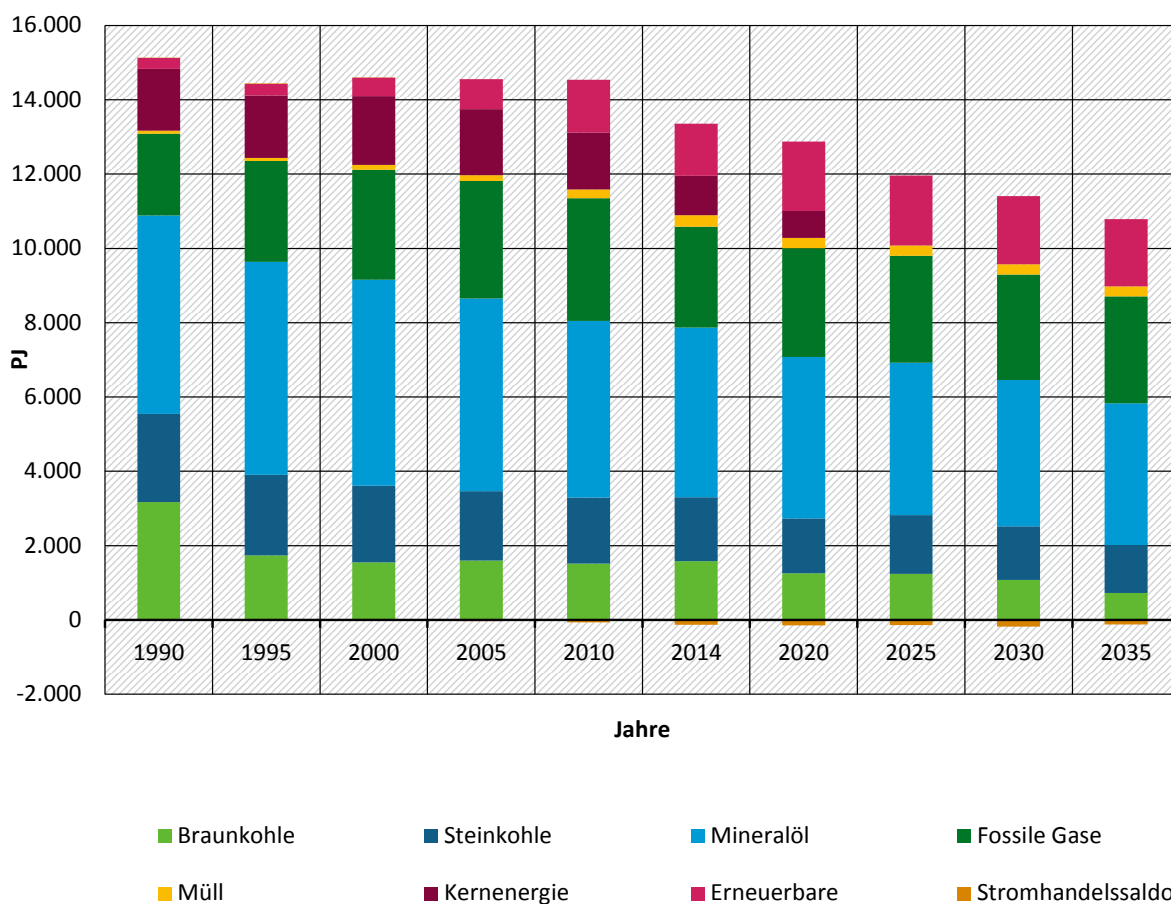
Um eine möglichst umfassende Vergleichbarkeit der Energiedaten zu gewährleisten wurden für die Ermittlung der Energiebedarfsdaten die nachstehenden Konventionen getroffen:

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 Primärenergieermittlung 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.¹²⁰ 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.¹²¹ 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 3-24: 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 2008¹²² auf 10.668 PJ im Jahr 2035 (-26 %). Damit einher geht eine Verschiebung der Struktur des Primärenergieverbrauchs, wie Abbildung 3-24 und Tabelle 3-163 zeigen.

¹²⁰ Auch das Stromaußenhandelsaldo wird primärenergieseitig mit einem Wirkungsgrad von 100 % bewertet.

¹²¹ 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.

¹²² 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 %). Durch die Einführung der Braunkohlesicherheitsbereitschaft und altersbedingte Stilllegungen von Braunkohlekraftwerken sinkt die Braunkohleverstromung schneller als die Steinkohleverstromung. Eine hohe Stromnachfrage aus dem Ausland trägt ebenso dazu bei, dass die Stromerzeugung aus Steinkohlekraftwerken langsamer sinkt. 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. Die höhere Nachfrage nach fossilen Gasen kommt vor allem aus Erdgaskraftwerken. Zudem war 2014 ein außergewöhnlich warmes Jahr mit entsprechend niedrigem Heizenergiebedarf.

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 ausschließlich für die Stromerzeugung genutzten Windenergie um 518 PJ, und damit das Dreieinhalbfache des Beitrags aus dem Jahr 2014. Wind ist im Jahr 2035 mit 725 PJ der zweitwichtigste erneuerbare Energieträger. Im Jahr 2035 trägt die in allen Sektoren genutzte 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 dritt wichtigsten Energieträger. Der Anteil der erneuerbaren Energieträger steigt von fast 11 % im Jahr 2014 auf knapp 17 % im Jahr 2035.

Der absolute Beitrag von Müll, eingesetzt in der Energiewirtschaft und der Industrie, ist leicht rückläufig und 2035 um 40 PJ (-13 %) niedriger als 2014. Das negative Stromaußenhandelsaldo (also der Stromexportüberschuss) steigt zunächst bis 2030 deutlich an, liegt 2035 dann aber wieder in etwa auf dem Niveau von 2014.

Tabelle 3-163: Primärenergieverbrauch im MMS 2008-2035

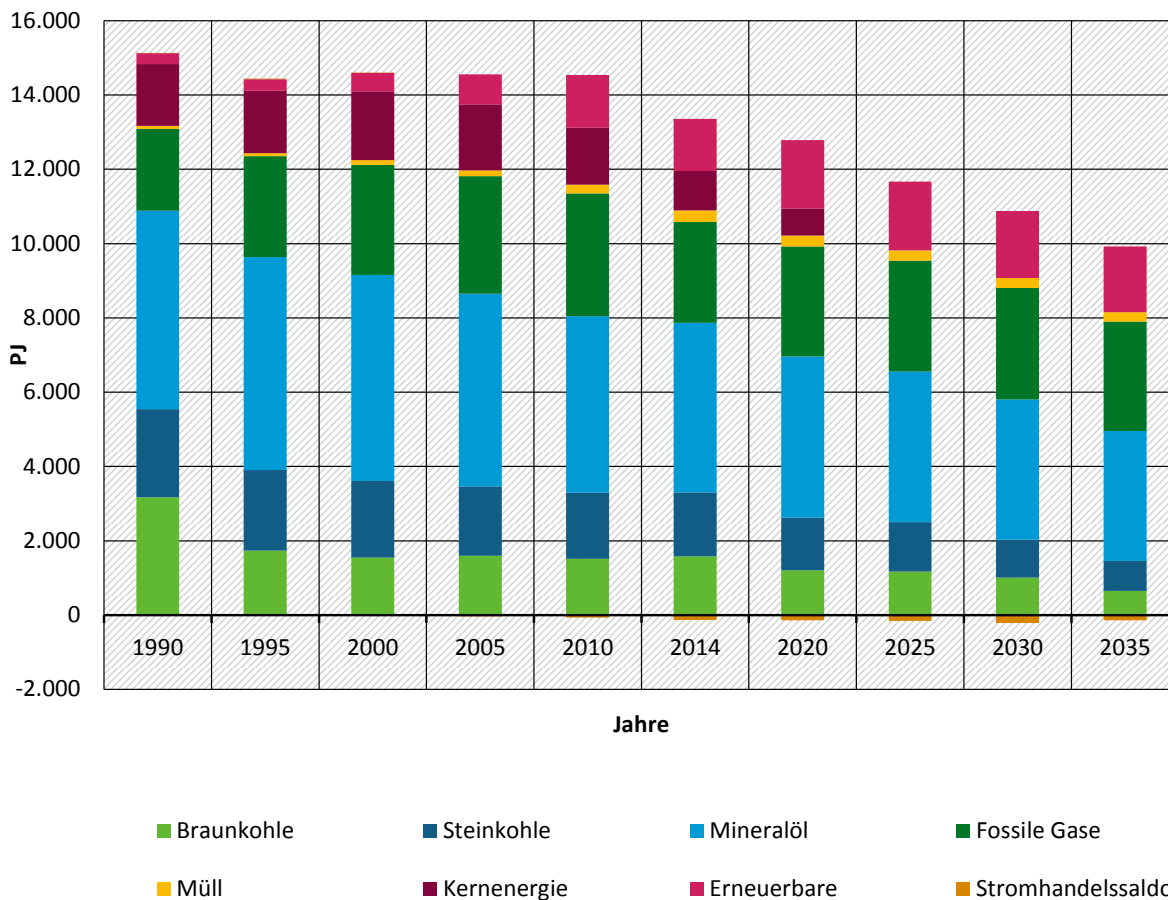
Energieträger	2008	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	PJ						
Braunkohle	1.566	1.516	1.580	1.254	1.239	1.078	726
Steinkohle	1.823	1.779	1.725	1.474	1.584	1.441	1.288
Mineralöl	4.968	4.756	4.561	4.347	4.100	3.940	3.814
Fossile Gase	3.219	3.301	2.719	2.927	2.881	2.837	2.879
Müll	194	236	310	280	277	273	270
Kernenergie	1.623	1.534	1.059	728	0	0	0
Biomasse ^a	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
PEV gesamt^b	14.496	14.473	13.227	12.729	11.824	11.226	10.668
<i>Änderung ggü. 2008</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-0,2 %</i>	<i>-8,8 %</i>	<i>-12,2 %</i>	<i>-18,4 %</i>	<i>-22,6 %</i>	<i>-26,4 %</i>
<i>Erneuerbarer Anteil</i>	<i>8,2 %</i>	<i>9,8 %</i>	<i>10,6 %</i>	<i>14,7 %</i>	<i>15,9 %</i>	<i>16,4 %</i>	<i>17,0 %</i>

Quelle: Brennstoffe: (UBA 2016a, 2016b), übrige Energieträger: (AGEB) (2008a-2016, 2008b-2016), Modellierung Fraunhofer-ISI und Öko- Institut

Anmerkung: ^a einschließlich organischer Anteile des Mülls. ^b ohne Brennstoffeinsatz des internationalen Seeverkehrs (Hochseebunkerungen).

3.2.1.2 Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios

Abbildung 3-25: 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 2008¹²³ auf 9.781 PJ im Jahr 2035 (-32 %). Damit einher geht eine Verschiebung der Struktur des Primärenergieverbrauchs.

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, da neue Erdgas-KWK-Anlagen ältere Steinkohle-KWK-Anlagen ersetzen und zudem eine höhere Einspeisung erneuerbarer Energien ältere Steinkohle-Kondensationskraftwerke unwirtschaftlich werden. Stärkster Treiber für den Mineralölverbrauchsrückgang sind die verringerten Nachfragen nach Flüssigkraftstoffen im Verkehr, die im MMS noch etwa konstant waren. 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, vor allem wegen Erdgas-KWK.

¹²³ 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).

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 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, Solarenergie sowie Geothermie und Umweltwärme. Damit werden die Erneuerbaren zusammen nach Mineralöl und fossilen Gasen zum dritt wichtigsten 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 Stromaußenhandelsaldo (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 3-164: Primärenergieverbrauch im MWMS 2008-2035

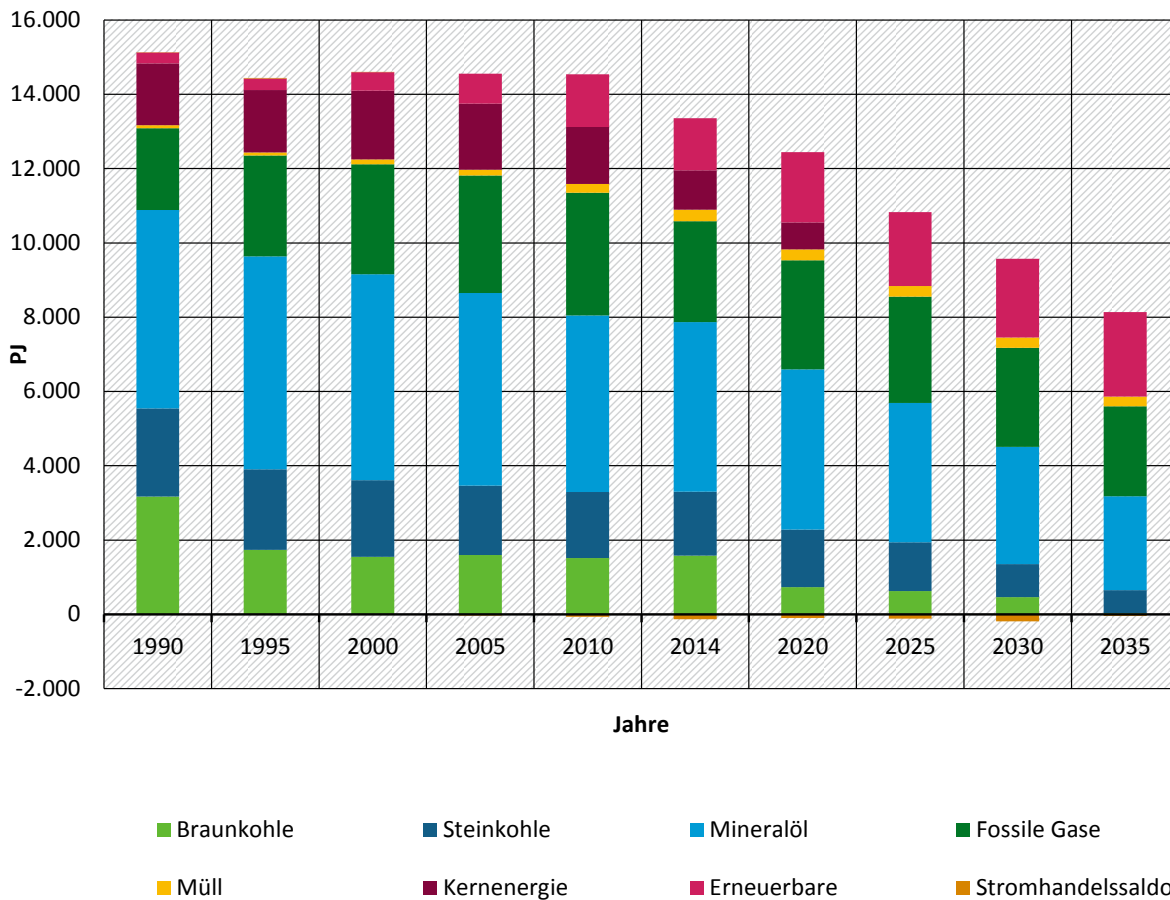
Energieträger	2008	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	PJ						
Braunkohle	1.566	1.516	1.580	1.205	1.173	1.009	652
Steinkohle	1.823	1.779	1.725	1.417	1.333	1.024	808
Mineralöl	4.968	4.756	4.561	4.338	4.051	3.773	3.498
Fossile Gase	3.219	3.301	2.719	2.963	2.985	3.003	2.942
Müll	194	236	310	293	278	269	256
Kernenergie	1.623	1.534	1.059	728	0	0	0
Biomasse ^a	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
Stromhandelsaldo	-81	-64	-128	-143	-158	-210	-141
PEV gesamt^b	14.496	14.473	13.227	12.641	11.510	10.666	9.781
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: ^a einschließlich organischer Anteile des Mülls. ^b ohne Brennstoffeinsatz des internationalen Seeverkehrs (Hochseebunkerungen).

3.2.1.3 Ergebnisse der Projektion des Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenarios

Abbildung 3-26: Primärenergieverbrauch im Mit-Erweiterten-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-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (MEMS) von 14.496 PJ im Jahr 2008¹²⁴ auf 8.098 PJ im Jahr 2035 (-44 %). Damit einher geht eine Verschiebung der Struktur des Primärenergieverbrauchs, wie Abbildung 3-26 und Tabelle 3-165 zeigen.

Der Primärenergieverbrauch von Mineralölen sinkt zwischen 2014 und 2035 im MEMS deutlich stärker ab als in den anderen beiden Szenarien: Der Rückgang um 2.033 PJ (-45 %) wird durch eine Reduktion des Verbrauchs an Ölprodukten quer über alle Sektoren hervorgerufen. Besonders bedeutsam ist aber der Rückgang des Verbrauchs an Flüssigkraftstoffen im Verkehr. Die über den Betrachtungszeitraum deutlichste Veränderung des Primärenergieverbrauchs ist im MEMS bei den Kohlen zu sehen: Der Verbrauch von Kohlen geht um 2.656 PJ (-80 %) zurück. Die Beendigung der Braunkohleverstromung führt zu einem fast vollständigem Rückgang (-98 %) des Verbrauchs an Braunkohle. Ein Rest an Braunkohle verbleibt in der Industrie, außerdem marginale Mengen in Gebäuden und sonstiger Energiewirtschaft außerhalb der Kraftwerke. Auch der sehr starke Rückgang des Steinkohleverbrauchs (-64 %) ist vor allem auf den deutlichen Rückgang der Steinkohleverstromung aber auch durch einen Rückgang des Kohleverbrauchs der Industrie zurückzuführen. Der Einsatz der Kernener-

¹²⁴ 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).

gie zur Stromerzeugung geht wie auch im MMS aufgrund des Atomausstiegs nach 2022 auf null zurück. Der Verbrauch an fossilen Gasen steigt bis 2020 an, sinkt anschließend aber wieder. Im Jahr 2035 liegt der Verbrauch an fossilen Gasen um 293 PJ (-11 %) niedriger als 2014.

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 871 PJ (+62 %) einstellt. In erster Linie ist das auf ein deutliches Ansteigen der Windenergie um 828 PJ und damit das Fünffache des Beitrags aus dem Jahr 2014 zurückzuführen. Wind ist im MEMS in Folge des im Vergleich zu den anderen beiden Szenarien deutlich stärkeren Anlagenzubaus im Jahr 2035 mit 1.034 PJ der wichtigste erneuerbare Energieträger und hat einen Anteil von 46 % am Primärenergieverbrauch aller erneuerbaren Energieträger von insgesamt 2.271 PJ. Biomasse bleibt bis zum Jahr 2030 der wichtigste erneuerbare Energieträger, bis sie von Windenergie überholt wird. Im Jahr 2035 trägt die Biomasse 96 PJ bzw. 9 % weniger als 2014 zum Primärenergieverbrauch bei, bleibt aber weiterhin wichtigster erneuerbarer Energieträger mit etwa 42 % des Einsatzes aller erneuerbaren Energieträger. Der verbleibende regenerative Primärenergieverbrauch von 274 PJ verteilt sich auf Wasserkraft, Solarenergie sowie Geothermie und Umweltwärme. Damit werden die Erneuerbaren zusammen nach Mineralöl und fossilen Gasen zum dritt wichtigsten Energieträger, der Anteil der erneuerbaren Energieträger steigt von fast 11 % im Jahr 2014 auf 28 % im Jahr 2035.

Der absolute Beitrag von Müll ist 2035 um 48 PJ (-15 %) niedriger als 2014. Das negative Stromaußenhandelsaldo (also der Stromexportüberschuss) erreicht im Jahr 2030 ein Maximum, anschließend sinkt es aber deutlich und liegt 2035 um 89 PJ (-70 %) niedriger als im Jahr 2014.

Tabelle 3-165: Primärenergieverbrauch im MEMS 2008-2035

Energieträger	2008	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	PJ						
Braunkohle	1.566	1.516	1.580	736	631	464	29
Steinkohle	1.823	1.779	1.725	1.549	1.307	892	619
Mineralöl	4.968	4.756	4.561	4.313	3.752	3.156	2.528
Fossile Gase	3.219	3.301	2.719	2.936	2.865	2.667	2.426
Müll	194	236	310	294	282	275	262
Kernenergie	1.623	1.534	1.059	726	0	0	0
Biomasse ^a	934	1.165	1.059	1.229	1.186	1.065	963
Windenergie	146	136	206	490	611	824	1.034
Wasserkraft	73	76	71	77	76	75	75
Solarenergie	15	19	26	44	62	83	110
Geothermie und Umweltwärme	16	19	38	46	59	73	90
Stromhandelssaldo	-81	-64	-128	-95	-116	-188	-39
PEV gesamt^b	14.496	14.473	13.227	12.344	10.715	9.386	8.098
<i>Änderung ggü. 2008</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-0,2 %</i>	<i>-8,8 %</i>	<i>-14,8 %</i>	<i>-26,1 %</i>	<i>-35,3 %</i>	<i>-44,1 %</i>
<i>Erneuerbarer Anteil</i>	<i>8,2 %</i>	<i>9,8 %</i>	<i>10,6 %</i>	<i>15,3 %</i>	<i>18,6 %</i>	<i>22,6 %</i>	<i>28,0 %</i>

Quelle: Brennstoffe: (UBA 2016a, 2016b), übrige Energieträger: (AGEB) (2008a-2016, 2008b-2016), Modellierung Fraunhofer-ISI und Öko- Institut

Anmerkung: ^a einschließlich organischer Anteile des Mülls. ^b ohne Brennstoffeinsatz des internationalen Seeverkehrs (Hochseebunkerungen).

3.2.2 Endenergieverbrauch

Energiebilanz und Nationales Treibhausgasinventar verwenden unterschiedliche Abgrenzungen der einzelnen Sektoren. Die folgende Tabelle 3-166 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.¹²⁵

Tabelle 3-166: 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	
Schienerverkehr	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

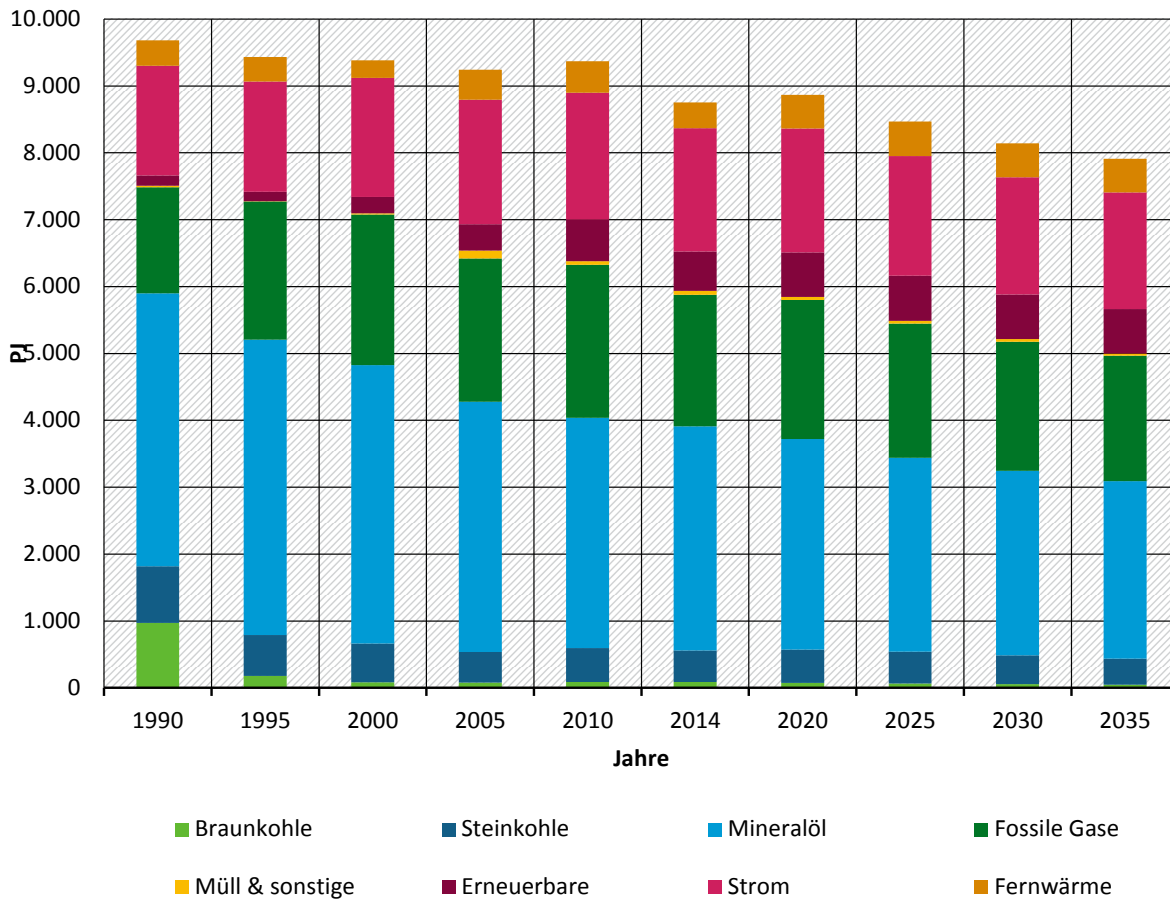
Der gesamte Endverbrauch ist leicht rückläufig. Er sinkt von 8.753 PJ im Jahr 2014 auf 8.468 PJ im Jahr 2025 und 7.909 PJ im Jahr 2035, was einem Rückgang von 3 % bzw. 10 % entspricht.

Wie beim Primärenergieverbrauch entwickeln sich die einzelnen Energieträgergruppen unterschiedlich (siehe Tabelle 3-167 und Abbildung 3-27). 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

¹²⁵ 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.

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.

Abbildung 3-27: 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 Biomasseinsatz nahezu ausgeglichen. Der gesamte Endenergieverbrauch an Strom bleibt zunächst konstant, sinkt aber ab 2020 leicht um gut 5 %.

Tabelle 3-167: Endenergieverbrauch nach Brennstoffen im MMS (2014-2035)

Energieträger	2014	2020	2025	2030	2035
	PJ				

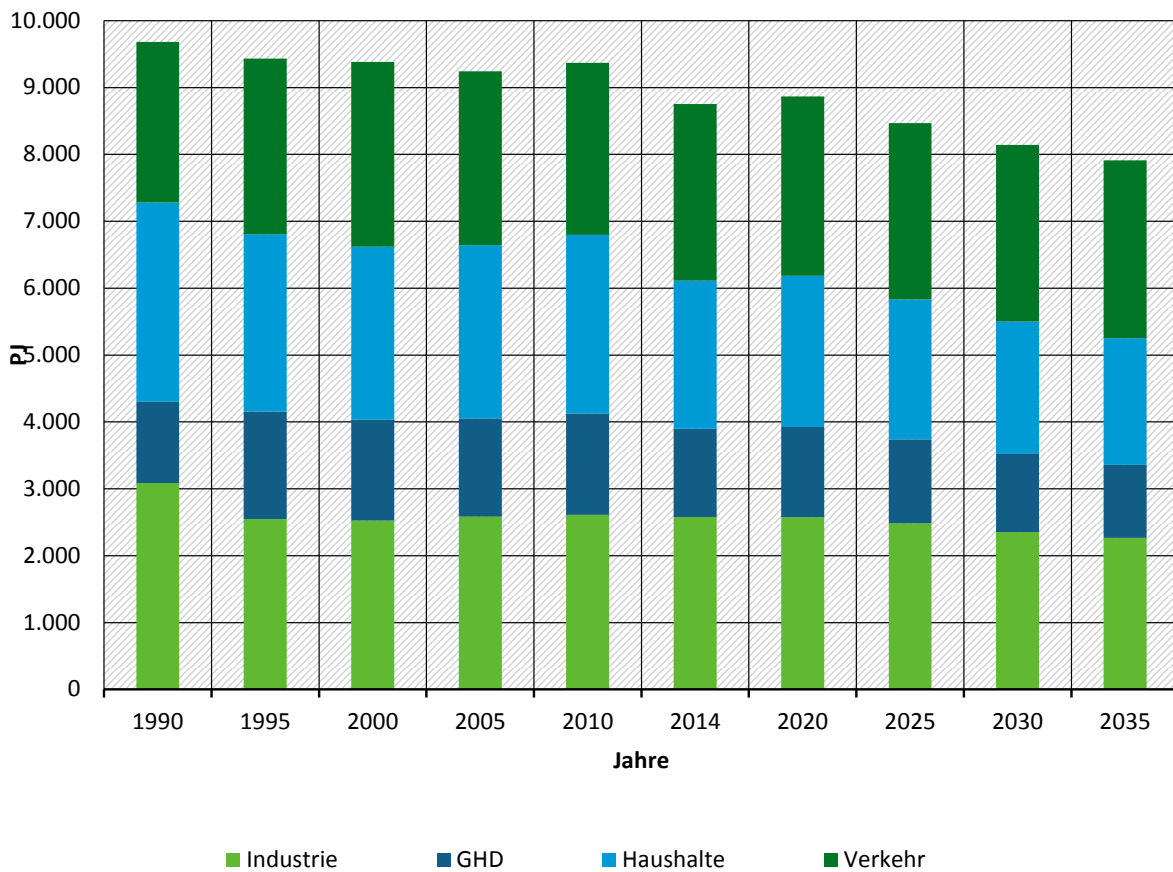
Energieträger	2014	2020	2025	2030	2035
	PJ				
Braunkohle	87	75	63	55	46
Steinkohle	469	496	475	430	390
Mineralöl	3.354	3.148	2.901	2.758	2.656
Fossile Gase	1.965	2.081	2.006	1.933	1.872
Müll	54	46	41	38	35
Sonstige	6	0	0	0	0
Biomasse ^a	524	577	566	543	528
Solarenergie	26	43	58	70	81
Geothermie und Umweltwärme	38	46	52	54	54
Strom	1.846	1.852	1.789	1.753	1.743
Fernwärme	383	503	516	511	502
Endenergieverbrauch gesamt	8.753	8.867	8.468	8.144	7.909
<i>Änderung ggü. 2014</i>	<i>0,0 %</i>	<i>1,3 %</i>	<i>-3,3 %</i>	<i>-7,0 %</i>	<i>-9,6 %</i>

Quelle: Brennstoffe: (UBA 2016a, 2016b), übrige Energieträger: (AGEB) (2008a-2016, 2008b-2016), Modellierung Fraunhofer-ISI und Öko- Institut

Anmerkung: ^a Einschließlich organischer Anteile des Mülls.

Die Entwicklungen in den einzelnen Sektoren fallen dabei sehr unterschiedlich aus (siehe Abbildung 3-28 und Tabelle 3-168). 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 3-28: Endenergieverbrauch nach Sektoren im MMS



Quelle: Brennstoffe: (UBA 2016a, 2016b), übrige Energieträger: (AGEB) (2008a-2016, 2008b-2016), Modellierung Fraunhofer-ISI und Öko- Institut

Tabelle 3-168: 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
Endenergieverbrauch	8.753	8.867	8.468	8.144	7.909
<i>Änderung ggü. 2014</i>	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

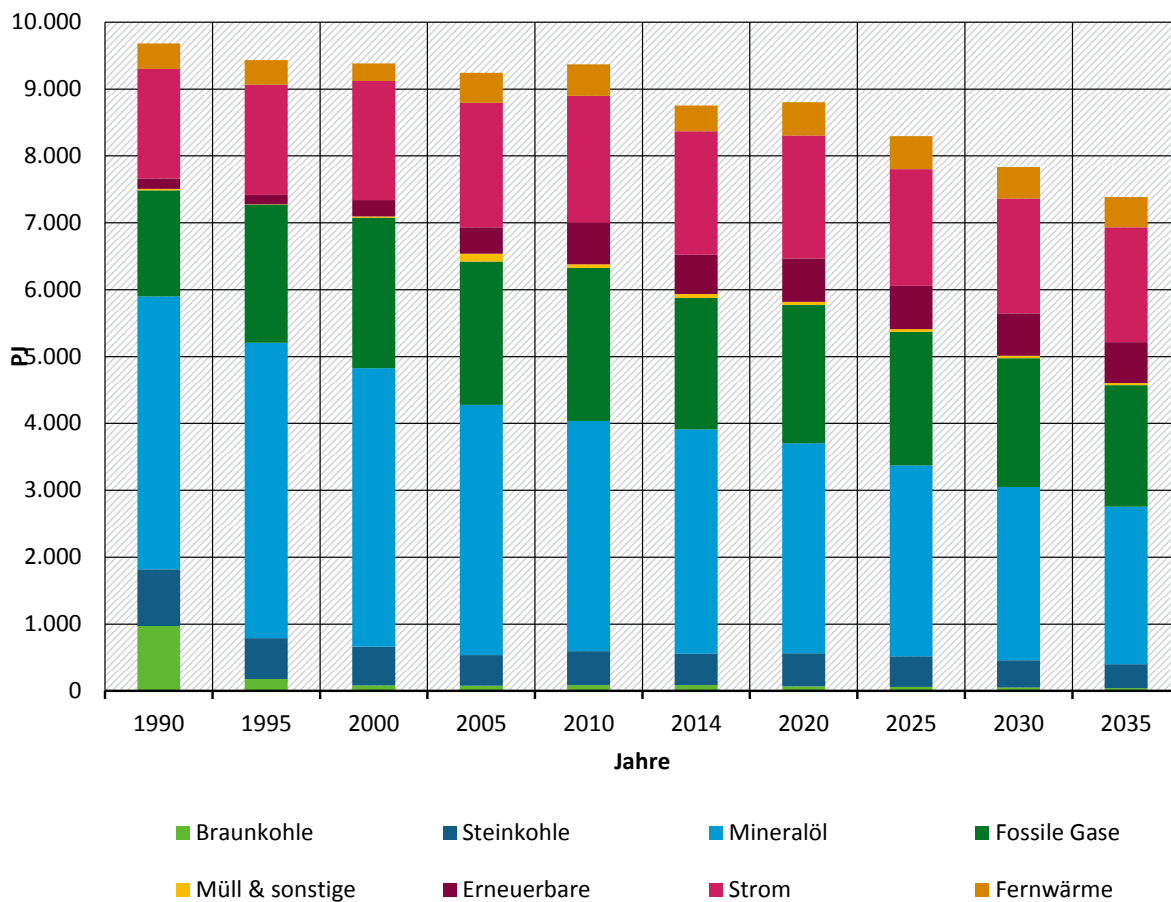
3.2.2.2 Ergebnisse der Projektion des Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarios

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 3-29 und Tabelle 3-169). 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. Metallherzeugung), 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 3-29: Endenergieverbrauch nach Brennstoffen im MWMS



Quelle: AGE (2008a-2016, 2008b-2016), (UBA 2016a, 2016b), Modellierung Fraunhofer-ISI und Öko- Institut

Tabelle 3-169: Endenergieverbrauch nach Brennstoffen im MWMS (2014-2035)

Energieträger	2014	2020	2025	2030	2035
	PJ				

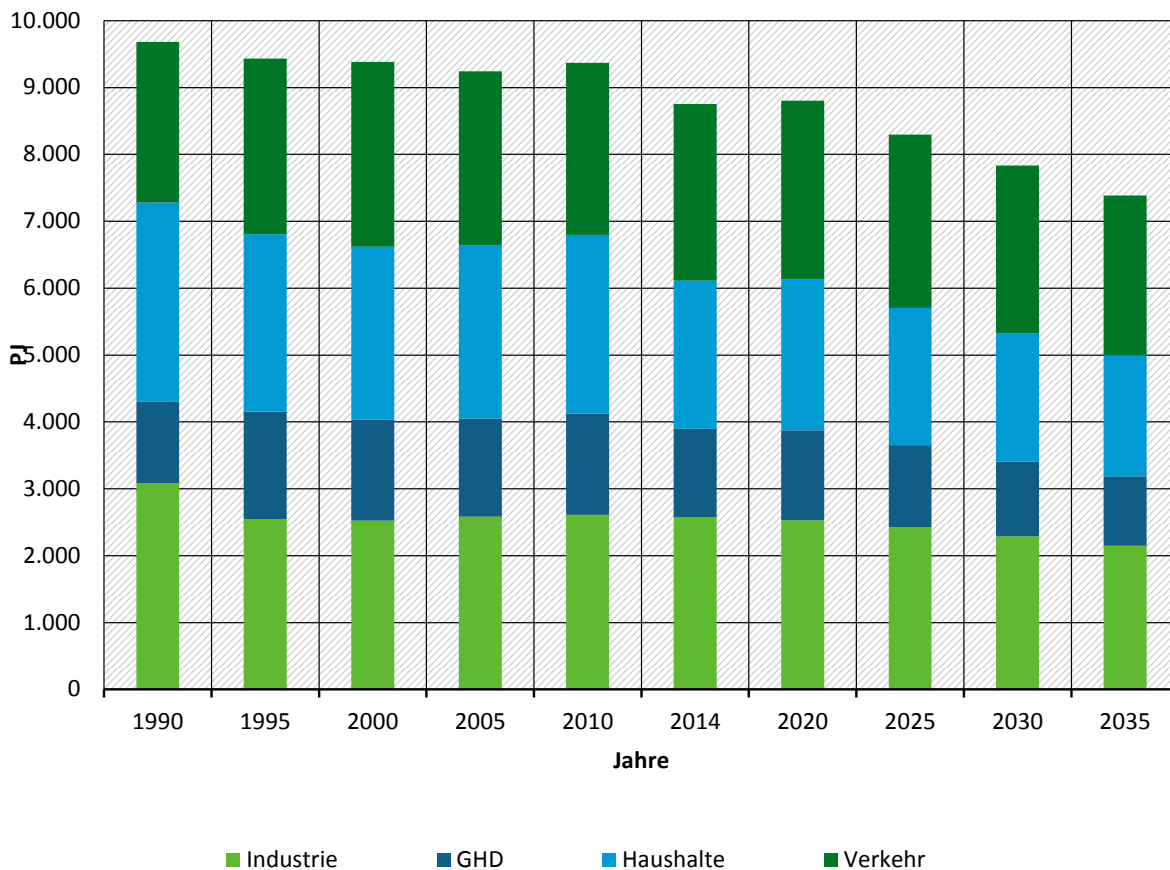
Energieträger	2014	2020	2025	2030	2035
	PJ				
Braunkohle	87	71	58	50	41
Steinkohle	469	491	460	407	359
Mineralöl	3.354	3.140	2.852	2.594	2.355
Fossile Gase	1.965	2.069	1.997	1.922	1.816
Müll	54	46	41	36	33
Sonstige	6	0	0	0	0
Biomasse ^a	524	560	539	507	470
Solarenergie	26	43	57	70	80
Geothermie und Umweltwärme	38	47	54	58	59
Strom	1.846	1.837	1.745	1.716	1.720
Fernwärme	383	499	493	473	451
Endenergieverbrauch gesamt	8.753	8.804	8.297	7.834	7.385
<i>Änderung ggü. 2014</i>	<i>0,0 %</i>	<i>0,6 %</i>	<i>-5,2 %</i>	<i>-10,5 %</i>	<i>-15,6 %</i>

Quelle: Brennstoffe: (UBA 2016a, 2016b), übrige Energieträger: (AGEB) (2008a-2016, 2008b-2016), Modellierung Fraunhofer-ISI und Öko- Institut

Anmerkung: ^a Einschließlich organischer Anteile des Mülls.

Auch im MWMS bleibt der Endenergieverbrauch der Sektoren bis 2020 etwa konstant (siehe Abbildung 3-30 und Tabelle 3-170), 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 3-30: Endenergieverbrauch nach Sektoren im MWMS



Quelle: Brennstoffe: (UBA 2016a, 2016b), übrige Energieträger: (AGEB) (2008a-2016, 2008b-2016), Modellierung Fraunhofer-ISI und Öko- Institut

Tabelle 3-170: Endenergieverbrauch nach Sektoren im MWMS (2014-2035)

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
Endenergieverbrauch	8.753	8.804	8.297	7.834	7.385
<i>Änderung ggü. 2014</i>	<i>0,0 %</i>	<i>0,6 %</i>	<i>-5,2 %</i>	<i>-10,5 %</i>	<i>-15,6 %</i>

Quelle: Brennstoffe: (UBA 2016a, 2016b), übrige Energieträger: (AGEB) (2008a-2016, 2008b-2016), Modellierung Fraunhofer-ISI und Öko- Institut

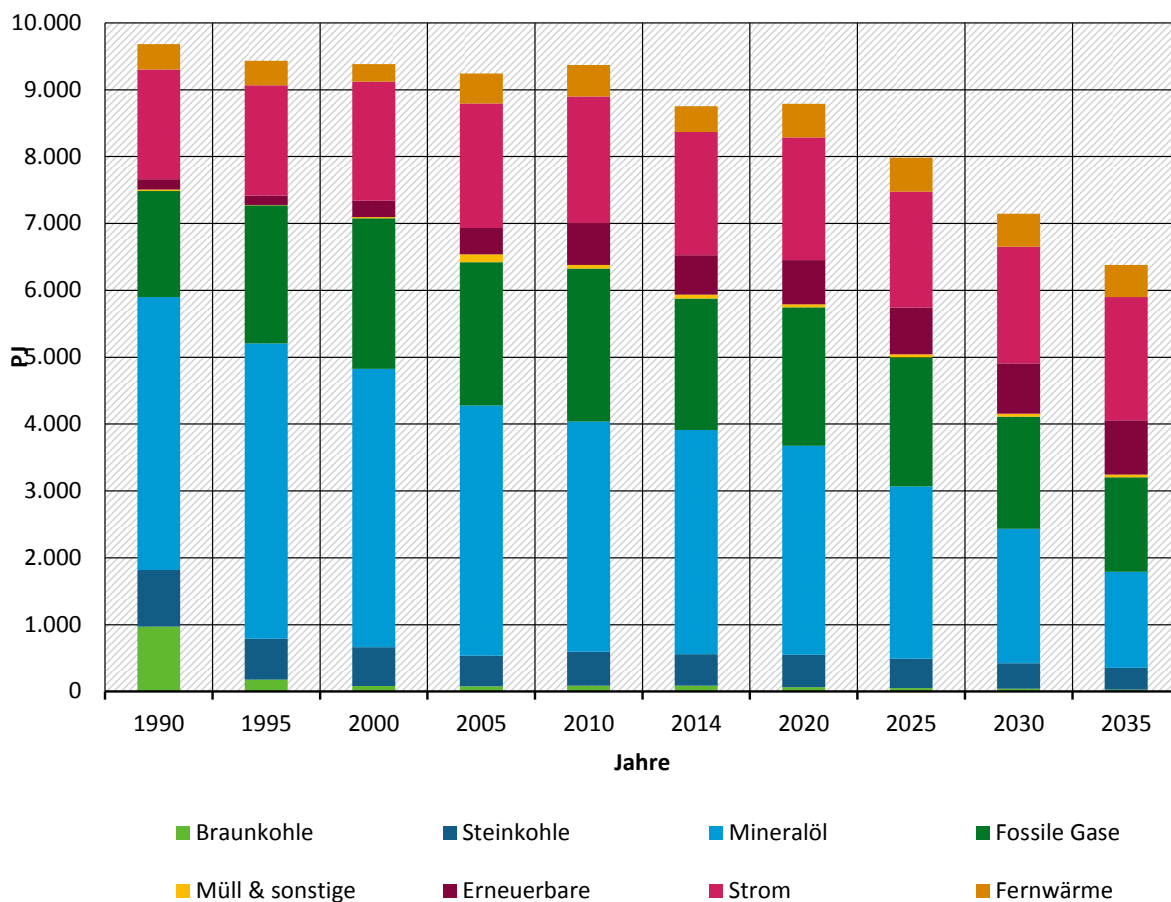
3.2.2.3 Ergebnisse der Projektion des Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenarios

Der Endenergieverbrauch sinkt im MEMS nach einem minimalen Anstieg bis 2020 von 8.753 PJ im Jahr 2014 auf 6.381 PJ im Jahr 2035 (Rückgang von 27 %). Dieser Rückgang ist um mehr als elf Prozentpunkte stärker als im MWMS und sogar um über 17 Prozentpunkte stärker als im MMS.

Wie auch in den anderen beiden Szenarien entwickeln sich die einzelnen Energieträgergruppen unterschiedlich (siehe Abbildung 3-31 und Tabelle 3-171). Der Verbrauch von Braunkohlen nimmt von 2014 bis 2035 um 66 % ab. Der Einsatz von Steinkohlen, der im Wesentlichen auf den Sektor Industrie entfällt (v.a. Metallherzeugung), geht bis 2035 um 31 % zurück. Der Verbrauch an Mineralölprodukten inkl. Flugkraftstoffen wird mehr als halbiert (Rückgang um 57 %). Der geringste Rückgang aller fossilen Endverbrauchsträger ist bei den fossilen Gasen mit einem Rückgang um 28 % festzustellen.

Anders als im MMS und MWMS, wo nur ein geringer Anstieg zu verzeichnen war, steigt der Beitrag der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch um 38 %. Anderes als in den anderen beiden Szenarien steigt im MEMS auch der Beitrag der Biomasse um 20 %. Beim Strom wird im MEMS 2030 ein Verbrauchsminimum erreicht (6 % niedriger als 2014), allerdings steigt der Stromverbrauch anschließend aufgrund neuer elektrischer Verbraucher (insbesondere Elektromobilität) deutlich an, sodass der Stromverbrauch im Jahr 2035 wieder auf dem Niveau des Jahres 2014 liegt.

Abbildung 3-31: Endenergieverbrauch nach Brennstoffen im MEMS



Quelle: AGEB (2008a-2016, 2008b-2016), (UBA 2016a, 2016b), Modellierung Fraunhofer-ISI und Öko- Institut

Tabelle 3-171: Endenergieverbrauch nach Brennstoffen im MEMS (2014-2035)

Energieträger	2014	2020	2025	2030	2035
	PJ				

Energieträger	2014	2020	2025	2030	2035
	PJ				
Braunkohle	87	64	50	40	29
Steinkohle	469	485	441	381	325
Mineralöl	3.354	3.125	2.577	2.014	1.435
Fossile Gase	1.965	2.070	1.929	1.677	1.415
Müll	54	47	45	42	38
Sonstige	6	0	0	0	0
Biomasse ^a	524	574	580	605	630
Solarenergie	26	43	59	76	93
Geothermie und Umweltwärme	38	46	59	73	90
Strom	1.846	1.834	1.739	1.744	1.845
Fernwärme	383	501	504	494	480
Endenergieverbrauch gesamt	8.753	8.789	7.982	7.147	6.381
<i>Änderung ggü. 2014</i>	<i>0,0 %</i>	<i>0,4%</i>	<i>-8,8%</i>	<i>-18,3%</i>	<i>-27,1%</i>

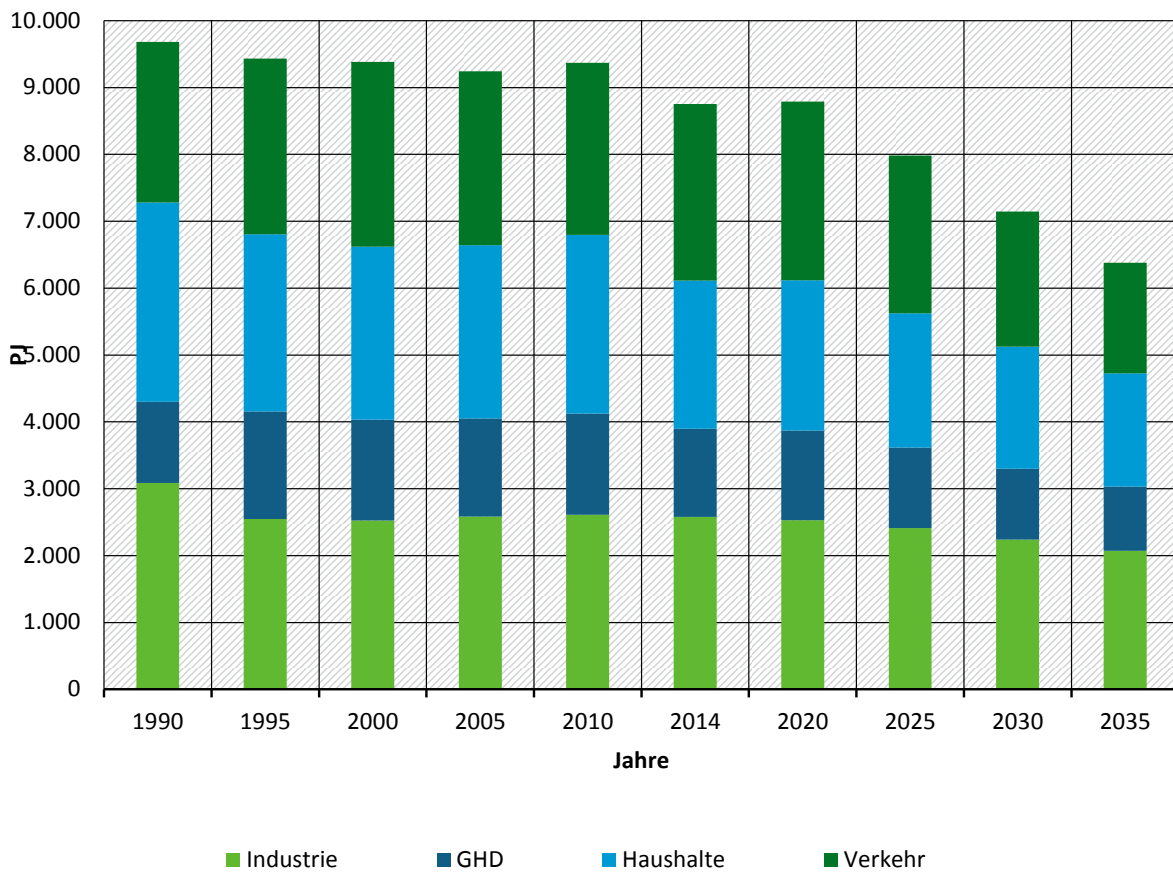
Quelle: Brennstoffe: (UBA 2016a, 2016b), übrige Energieträger: (AGEB) (2008a-2016, 2008b-2016), Modellierung Fraunhofer-ISI und Öko- Institut

Anmerkung: ^a Einschließlich organischer Anteile des Mülls.

Auch im MEMS bleibt der Endenergieverbrauch der Sektoren bis 2020 etwa konstant (siehe Abbildung 3-32 und Tabelle 3-172), sinkt danach aber sehr deutlich.

Die größten Einsparungen werden dabei im Verkehr erzielt: Im MEMS liegt der Endenergieverbrauch des Verkehrs im Jahr um 37 % niedriger als 2014, wohingegen im MWMS nur eine Einsparung von 10 % erzielt wird und der Endenergieverbrauch des Verkehrs im MMS sogar quasi konstant ist. Im MEMS werden ebenfalls erheblich stärkere Energieverbrauchsreduzierungen im GHD-Sektor (-27 % im MEMS ggü. -21 % im MWMS und -17 % im MMS) und den privaten Haushalten (-23 % im MEMS ggü. -18 % ggü. im MWMS und -14 %) erzielt. Die Reduktion des Endenergieverbrauchs der Industrie hingegen ist im MEMS (-19 %) nur geringfügig stärker als im MWMS (-17 % im MWMS; im MMS wurden -12 % erzielt).

Abbildung 3-32: Endenergieverbrauch nach Sektoren im MEMS



Quelle: Brennstoffe: (UBA 2016a, 2016b), übrige Energieträger: (AGEB) (2008a-2016, 2008b-2016), Modellierung Fraunhofer-ISI und Öko- Institut

Tabelle 3-172: Endenergieverbrauch nach Sektoren im MEMS (2014-2035)

Sektor	2014	2020	2025	2030	2035
	PJ				
Industrie	2.580	2.530	2.410	2.239	2.072
GHD	1.319	1.342	1.205	1.062	959
Haushalte	2.215	2.245	2.008	1.823	1.695
Verkehr	2.638	2.672	2.359	2.023	1.654
Endenergieverbrauch	8.753	8.789	7.982	7.147	6.381
<i>Änderung ggü. 2014</i>	<i>0,0 %</i>	<i>0,4%</i>	<i>-8,8%</i>	<i>-18,3%</i>	<i>-27,1%</i>

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 CO₂-, CH₄- und N₂O-Emissionen aus Verbrennungsprozessen für alle drei Szenarien sind – einschließlich der den internationalen Bunkerungen zuzurechnenden Emissionen – in Tabelle 3-173 zusammengestellt.

Im Jahr 2020 beträgt die Minderung, bezogen auf 1990, im MMS 30 % (-308 Mt CO₂e), im MWMS 31 % (-317 Mt CO₂e) und im MEMS 36 % (-360 Mt CO₂e). Über den gesamten Zeitraum bis 2035 werden gegenüber 1990 Emissionsminderungen von gut 42 % im MMS, knapp 50 % im MWMS und 68 % im MEMS erzielt, dies entspricht einer Minderung von 31 % (MMS), 39 % (MWMS) bzw. 62 % (MEMS) gegenüber 2005. Dabei sind CH₄- und N₂O-Emissionen aus Verbrennungsprozessen von untergeordneter Bedeutung, das dominierende Treibhausgas ist verbrennungsbedingtes CO₂.

Tabelle 3-173: Emissionsentwicklungen für die verbrennungsbedingten Treibhausgasemissionen nach Gasen, 1990–2035

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
CO₂-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
MEMS					646,0	565,2	453,0	319,7
CH₄-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
MEMS					5,0	4,8	4,0	3,2
N₂O-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
MEMS					4,8	4,3	3,5	2,5
Summe CO₂+CH₄+N₂O								
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
MEMS					655,8	574,3	460,6	325,4
Summe CO₂+CH₄+N₂O	Veränderung ab 1990 in %							
Entwicklung 1990 – 2014		-16,8	-19,1	-22,9				
MMS					-30,3	-31,6	-36,2	-42,2

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
MWMS					-31,2	-34,4	-41,1	-49,5
MEMS					-35,5	-43,5	-54,7	-68,0
Summe CO ₂ +CH ₄ +N ₂ O	Veränderung ab 2005 in %							
Entwicklung 2005 – 2014			-2,7	-7,4				
MMS					-16,3	-17,8	-23,3	-30,5
MWMS					-17,2	-21,2	-29,2	-39,3
MEMS					-22,4	-32,1	-45,5	-61,5

Anmerkungen: nur energiebedingte Emissionen in der Abgrenzung des NIR; mit CO₂-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 nach Brennstoffen in den drei Szenarien wird in Tabelle 3-174, Tabelle 3-175 und Tabelle 3-176 dargestellt. Für die Brennstoffe Braunkohle, Mineralöl, Müll und Biomasse lässt sich in allen Szenarien der gleiche Trend beobachten: Die Emissionen aus Braunkohle gehen zwischen 2014 und 2035 sukzessive zurück. Die Reduktion unterscheidet sich jedoch teilweise deutlich in den Szenarien: Im MMS gehen die Emissionen aus Braunkohle um -54 % zurück, im MWMS um -59 % und im MEMS aufgrund der angenommenen Beendigung der Braunkohleverstromung fast komplett um -99 %. Genauso verhält es sich bei den Emissionen aus Mineralöl. Der sukzessive Rückgang der Emissionen ist in den Szenarien unterschiedlich stark ausgeprägt: Im MMS gehen sie bis 2035 gegenüber 2014 um -22 % zurück, im MWMS um -30 % und im MEMS um -57 %. Der starke Rückgang in den ambitionierteren Szenarien lässt sich auf die stärker wachsende Elektromobilität zurückführen.

Die Emissionen aus Müll gehen in allen Szenarien zwischen 2014 und 2035 leicht zurück, um -13 % bis -17 %. Bei der Biomasse wird in allen Szenarien im Jahr 2020 ein Anstieg der Emissionen gegenüber 2014 um etwa ein Drittel verzeichnet, auch im Jahr 2025 sind die Emissionen aus Biomassen in allen drei Szenarien noch höher als im Jahr 2014. Erst im Jahr 2030 erreichen sie das Niveau von 2014, bis 2035 sinken die Emissionen aus Biomasse dann auf 2,4 bis 2,7 Mt CO₂e, was einem Rückgang von -33 % (MWMS) bis -23 % (MEMS) gegenüber 2014 entspricht.

Die Trends bei den anderen Brennstoffen unterscheiden sich insbesondere zwischen MMS/MWMS und MEMS. Die Emissionen aus fossilen Gasen liegen im MMS und MWMS in allen Szenariojahren durch das größere Gewicht von vergleichsweise emissionsarmem Erdgas als Energieträger über denen des Jahres 2014, mit sehr konstantem Trend. Das Niveau liegt im MWMS zudem etwas höher als das im MMS. Im MEMS liegen die Emissionen aus fossilen Gasen nur in den Jahren 2020 bis 2025 höher als im Jahr 2014, danach sinken sie auf Grund des verstärkten Ausbaus der erneuerbaren Energien leicht, bis 2035 um -13 % gegenüber 2014.

Die Emissionen aus Steinkohle erreichen im MMS im Jahr 2025 ihren Höchststand, bevor sie zurückgehen, im MWMS und MEMS gerät die Steinkohle in der Stromerzeugung unter Druck und wird verstärkt durch Erdgas ersetzt, so dass die Emissionen aus diesem Brennstoff zwischen 1990 und 2035 sukzessive zurückgehen. Auch hier unterscheiden sich die Rückgänge zwischen den Szenarien teils stark: Im MMS gehen die Emissionen bis zum Jahr 2035 im Vergleich zum Jahr 2014 um -27 % zurück, im MWMS um -56 % und im MEMS um -68 %.

Im MMS und MWMS bleibt die Verbrennung von Mineralöl über den gesamten Zeitraum die größte Emissionsquelle, im MEMS ist dies nur bis 2030 der Fall, danach werden die fossilen Gase zur größten Emissionsquelle. In allen Szenarien verursachen die fossilen Gase ansonsten ab 2020 den zweitgrößten Anteil der Emissionen.

Tabelle 3-174: 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 ₂ e							
Braunkohlen	345,4	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 ^a	0,5	1,2	2,8	3,6	4,7	4,4	3,4	2,5
Brennstoffe gesamt	1.015,7	844,2	821,6	782,1	707,1	694,2	647,9	586,9
Rauchgasentschwefelung (REA)	0,6	1,1	1,0	1,0	0,8	0,8	0,7	0,5
Gesamt inklusive REA	1.016,3	845,4	822,6	783,1	707,9	694,9	648,6	587,4
<i>ggü. 2005</i>	20,2 %	0,0 %	-2,7 %	-7,4 %	-16,3 %	-17,8 %	-23,3 %	-30,5 %
<i>ggü. 1990</i>	0,0 %	-16,8 %	-19,0 %	-22,9 %	-30,3 %	-31,6 %	-36,2 %	-42,2 %
Nachrichtlich								
CO ₂ 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: ^a Bezieht sich auf die CH₄ und N₂O-Emissionen, also ohne CO₂ aus Biomasseverfeuerung

Tabelle 3-175: 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 ₂ e							

Brennstoff	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
Braunkohlen	345,4	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 ^a	0,5	1,2	2,8	3,6	4,7	4,4	3,4	2,4
Brennstoffe gesamt	1.015,7	844,2	821,6	782,1	698,9	665,7	597,9	512,7
Rauchgasentschwefelung (REA)	0,6	1,1	1,0	1,0	0,7	0,7	0,6	0,4
Gesamt inklusive REA	1.016,3	845,4	822,6	783,1	699,6	666,4	598,5	513,1
<i>ggü. 2005</i>	20,2 %	0,0 %	-2,7 %	-7,4 %	-17,2 %	-21,2 %	-29,2 %	-39,3 %
<i>ggü. 1990</i>	0,0 %	-16,8 %	-19,0 %	-22,9 %	-31,1 %	-34,4 %	-41,1 %	-49,5 %
Nachrichtlich								
CO ₂ 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: ^a Bezieht sich auf die CH₄ und N₂O-Emissionen, also ohne CO₂ aus Biomasseverfeuerung

Tabelle 3-176: Entwicklung der gesamten verbrennungsbedingten Treibhausgasemissionen (inklusive internationalem Verkehr) nach Brennstoffen im MEMS, 1990–2035

Brennstoff	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
Braunkohlen	345,4	178,1	168,3	175,2	80,8	69,3	50,7	2,3
Steinkohlen	203,6	165,7	160,5	152,6	135,3	112,7	73,9	48,5
Mineralöl	335,8	310,8	285,5	274,1	250,9	208,7	165,0	119,0
Fossile Gase	122,5	175,2	184,9	151,6	159,9	155,9	144,9	131,6
Müll	7,7	13,1	19,6	25,1	23,7	22,8	22,2	21,3
Biomasse ^a	0,5	1,2	2,8	3,6	4,7	4,4	3,6	2,7
Brennstoffe gesamt	1.015,7	844,2	821,6	782,1	655,3	573,8	460,3	325,4
Rauchgasentschwefelung (REA)	0,6	1,1	1,0	1,0	0,5	0,4	0,3	0,0
Gesamt inklusive REA	1.016,3	845,4	822,6	783,1	655,8	574,3	460,6	325,4
<i>ggü. 2005</i>	20,2 %	0,0 %	-2,7 %	-7,4 %	-22,4%	-32,1%	-45,5%	-61,5%
<i>ggü. 1990</i>	0,0 %	-16,8 %	-19,0 %	-22,9 %	-35,5%	-43,5%	-54,7%	-68,0%
Nachrichtlich								
CO ₂ aus Biomasseverfeuerung	21,8	59,3	108,5	98,5	113,4	109,5	99,0	90,4

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

Anmerkung: ^a Bezieht sich auf die CH₄ und N₂O-Emissionen, also ohne CO₂ aus Biomasseverfeuerung

3.3.2 Treibhausgasemissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung

Die Treibhausgasemissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung unterscheiden sich kaum zwischen den drei Szenarien. In allen Szenarien sinken die Gesamtemissionen bis 2035 um 53 % bis 54 % (51 bis 52 Mt CO₂e) gegenüber 1990 und 40 % bis 41 % (30 bis 31 Mt CO₂e) gegenüber 2005. Auch hier ist CO₂ dominierend (im Jahr 2014 etwa drei Viertel der gesamten Emissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung), wenn auch weniger als bei den verbrennungsbedingten Emissionen. Da für den Rückgang der Emissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung ab 2014 hauptsächlich die HFKW¹²⁶ und SF₆ verantwortlich sind, steigt der Anteil des CO₂ bis 2035 auf über 85 Prozent.

HFKW und SF₆ sind nach CO₂ 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 und im MEMS ein Vorzieheffekt erkennbar, ansonsten sind die Szenarien sehr ähnlich. NF₃ 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 (CH₄). Die N₂O-Emissionen sind bereits in der Vergangenheit stark zurückgegangen und bleiben bis 2035 auf niedrigem Niveau konstant.

Tabelle 3-177: Emissionsentwicklungen für die Treibhausgasemissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung nach Gasen, 1990–2035

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
CO₂-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
MEMS					44,5	42,0	39,8	38,0
CH₄-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
MEMS					0,6	0,6	0,6	0,6
N₂O-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
MEMS					1,2	1,2	1,2	1,2

¹²⁶ 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.

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
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
MEMS					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
MEMS					0,2	0,2	0,2	0,2
SF₆-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
MEMS					4,3	2,7	1,2	1,0
NF₃-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
MEMS					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
MWMS					0,2	0,2	0,2	0,2
MEMS					0,2	0,2	0,2	0,2
Summe THG-Emissionen								
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
MEMS					60,1	52,3	46,7	44,6
Summe THG-Emissionen								
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
MEMS					-37,7	-45,8	-51,6	-53,8
Summe THG-Emissionen								
Entwicklung 2005 – 2014								
MMS								
MWMS								
MEMS								
Summe THG-Emissionen								
Entwicklung 2005 – 2014								
MMS								
MWMS								
MEMS								

	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
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
MEMS					-20,2	-30,6	-38,0	-40,8

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 der drei Szenarien jeweils auf zwei unterschiedliche Weisen aggregiert dargestellt. Zum einen werden die Beiträge der unterschiedlichen Treibhausgase, zum anderen die Beiträge der einzelnen Quellbereiche abgebildet. Die gesamten Treibhausgasemissionen werden dabei jeweils in einer weiten und einer engen Abgrenzung dargestellt, das heißt jeweils mit bzw. ohne Berücksichtigung der Emissionsbeiträge der Hochseeschifffahrt und des internationalen Flugverkehrs sowie zur Freisetzung oder Bindung von Treibhausgasen im Bereich Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft (LULUCF). Diese beiden internationalen Verkehre sind zwar in den nationalen Treibhausgasinventaren enthalten, allerdings nur nachrichtlich als „Memo items“. In der Regel werden Emissionen aus internationalen Treibstoffbunkerungen (Hochseeschifffahrt und internationaler Flugverkehr) sowie aus LULUCF nicht auf die Erreichung nationaler Klimaschutzziele in Deutschland angerechnet; dieser Konvention wird auch in diesem Bericht gefolgt.

3.4.1 Ergebnisse der Projektion des Mit-Maßnahmen-Szenarios

3.4.1.1 Entwicklung der Treibhausgasemissionen nach Treibhausgasen

In Tabelle 3-178 ist die Entwicklung der Emissionen von Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄), Lachgas (N₂O), teilfluorierten Kohlenwasserstoffen (HFKW), perfluorierten Kohlenwasserstoffen (FKW) sowie Schwefelhexafluorid (SF₆) und Stickstofftrifluorid (NF₃) zusammengestellt. In dieser Zusammenstellung sind die Treibhausgasemissionen aus internationalen Treibstoffbunkerungen (Hochseeschifffahrt und internationaler Flugverkehr) sowie von LULUCF nicht berücksichtigt.

Bis zum Jahr 2014, dem Basisjahr der Modellierungen in diesem Bericht, 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 Bundesregierung 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 Kohlendioxid¹²⁷ um fast 25 % reduziert. Im Jahr 2035 werden die CO₂-Emissionen gut 44 % niedriger liegen als 1990. Historisch und auch in der Projektion ist CO₂ das Gas mit dem größten Anteil an den gesamten deutschen Treibhausgasemissionen. 1990 hatte es einen Anteil von gut 84 %, 2014 sogar von fast 88 %. Bis 2035 wird dieser Anteil auf etwa 87 % zurückgehen. Die nicht in die Summe eingehenden und daher nur nachricht-

¹²⁷ Nicht berücksichtigt sind hier – wie auch in den übrigen CO₂-Emissionen dieses Berichts – die CO₂-Emissionen aus der Verbrennung von Biomasse.

lich ausgewiesenen CO₂-Emissionen aus der Verfeuerung von Biomasse vervielfachten sich zwischen 1990 und 2014, werden ihr Maximum etwa im Jahr 2020 erreichen und anschließend zurückgehen.

Bei Methan sind die größten Emissionsminderungen bereits in der Vergangenheit zu verzeichnen: CH₄ war 1990 nach CO₂ das bedeutendste Treibhausgas und hatte einen Anteil von fast 10 % an den Gesamtemissionen. Da aber die CH₄-Emissionen bis zum Jahr 2014 um 54 % reduziert werden konnten, sank der Anteil auf nur noch gut 6 %. Bis zum Jahr 2035 sinken die CH₄-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 N₂O-Emissionen nur leicht niedriger als 2014 sein, im Vergleich zu 1990 werden sie um 45 % sinken. 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.¹²⁸

Tabelle 3-178: Entwicklung der gesamten Emissionen nach Treibhausgasen im MMS, 1990-2035

Treibhausgas	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
Kohlendioxid (CO ₂) ^a	1.052,2	866,0	832,3	792,9	713,2	695,6	646,1	584,1
Methan (CH ₄)	119,2	68,4	58,1	55,5	51,0	49,1	46,8	44,8
Lachgas (N ₂ O)	65,2	43,6	37,0	38,8	37,8	37,8	36,7	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 ₆)	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

¹²⁸ 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 (SF₆) wurden bis 2014 um gut 47 % gegenüber 1995 reduziert. Da aber zunächst ein Anstieg der SF₆-Emissionen projiziert wird, liegen die SF₆-Emissionen 2020 nur noch 33 % niedriger als 1995. Dafür wird aber nach 2020 ein sehr deutlicher Rückgang erwartet, sodass die SF₆-Emissionen bis 2035 um etwa 85 % gegenüber 1995 reduziert werden können. 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 (NF₃) haben ihr Maximum im Jahr 2010 erreicht, lagen 2014 aber immer um ein Mehrfaches höher als 1995, haben aber auch zukünftig eine vernachlässigbare Bedeutung. Die Reduktionen gegenüber den Basisjahremissionen des Kyoto-Protokolls (hier wurden für CO₂, CH₄ und N₂O die Emissionen des Jahres 1990, für die fluorierten Gase hingegen die Emissionen des Jahres 1995 angesetzt) sind jeweils geringfügig höher als die Emissionsreduktionen gegenüber dem Jahr 1990.

Treibhausgas	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
Stickstofftrifluorid (NF ₃)	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gesamt	1.249,8	991,8	941,0	901,8	816,2	793,0	734,7	669,4
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 %	-36,6 %	-41,2 %	-46,4 %
ggü. Basisjahr	-0,3 %	-20,9 %	-24,9 %	-28,1 %	-34,9 %	-36,7 %	-41,4 %	-46,6 %
Nachrichtlich:								
CO ₂ 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: ^a Ohne CO₂ aus Biomasseverfeuerung. ^b Das Basisjahr ist 1990 für Kohlendioxid, Methan und Lachgas sowie 1995 für HFKW, FKW und Schwefelhexafluorid, die Basisjahremission wurden entsprechend berechnet.

3.4.1.2 Entwicklung der Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen

Eine nach Quellbereichen strukturierte Übersicht über die Emissionsentwicklung im Mit-Maßnahmen-Szenario bieten Tabelle 3-179 sowie Abbildung 3-33.¹²⁹ 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 um 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 CO₂e bis 2020 und um 125 Mt CO₂e 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 CO₂e bzw. etwa 6 % (39 % unterhalb von 1990), um danach bis 2035 um knapp 19 Mt CO₂e 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.

Die Treibhausgasemissionen des Sektors Gewerbe, Handel und Dienstleistungen steigen bis 2020 um gut 3 Mt CO₂e bzw. 8 % gegenüber 2014 (-52 % ggü. 1990) und sinken dann gegenüber dem Jahr 2014 um 12 Mt CO₂e 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 CO₂e (-42 % ggü. 1990) und bis 2035 um 39 % bzw. 33 Mt CO₂e (-60 % ggü. 1990). Zudem sinkt der Anteil der privaten Haushalte von 9 % im Jahr 2014 auf unter 8 % im Jahr 2035.

¹²⁹ Eine Übersicht der Emissionsentwicklung in den Sektordefinitionen des Klimaschutzplans 2050 der Bundesregierung bietet Tabelle A-5-3 und Tabelle A-5-4 im Anhang.

Im Verkehr werden nur geringe Emissionsreduktionen erreicht. Im Jahr 2020 ist eine Reduktion um 2 Mt CO₂e bzw. 1 % gegenüber 2014 (-3 % ggü. 1990) und im Jahr 2035 um 12 Mt CO₂e 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 CO₂e von 2014 bis 2020 und von 4 Mt CO₂e 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 CO₂e bzw. 1 % (-37 % ggü. 1990) und bis 2035 um 16 Mt CO₂e 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 geringste Emissionsminderung aufweist: gegenüber 2014 bis 2020 um knapp 1 Mt CO₂e bzw. 1 % (-17 % gegenüber 1990) und bis 2035 gut 2 Mt CO₂e 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 CO₂e bzw. 27 % und bis 2035 sogar um mehr als 6 Mt CO₂e bzw. 55 % reduziert werden. Damit weist die Abfallwirtschaft mit 78 % im Jahr 2020 und 86 % im Jahr 2035 auch weiterhin die größten relativen Emissionsminderungen gegenüber 1990 auf.

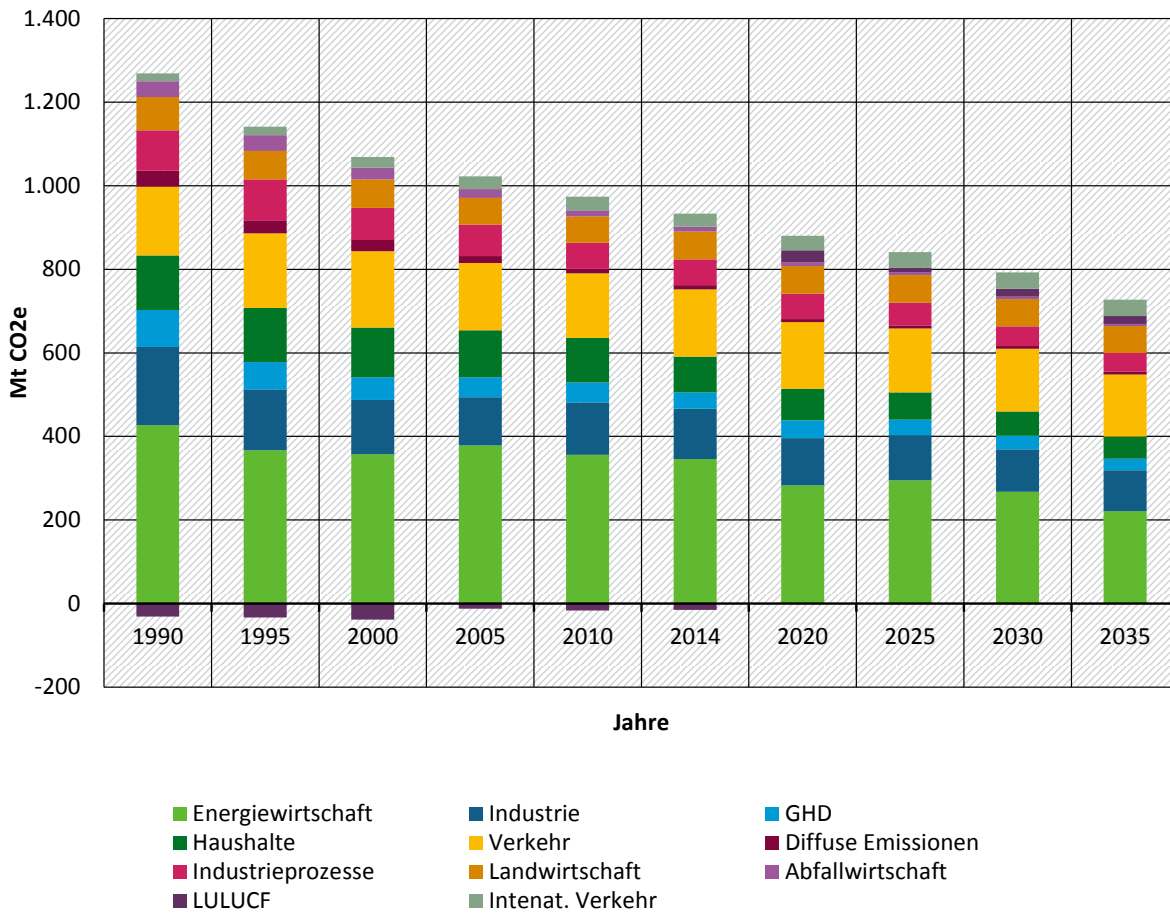
Der Anstieg der landwirtschaftlichen Emissionen und der nur noch geringe Rückgang der Emissionen der Abfallwirtschaft erklären den in Kapitel 3.4.1.1 beobachteten unterdurchschnittlichen Rückgang der Methan- und Lachgasemissionen.

Der LULUCF-Sektor war in der Vergangenheit in Summe eine Senke, in der Projektion hingegen eine Emissionsquelle. Hier wird aber auf das 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 CO₂ bzw. 9 % und bis zum Jahr 2035 um 6 Mt CO₂e bzw. 26 % gegenüber dem Jahr 2014 ansteigen. 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 im Jahr 2014 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 41 % gegenüber 1990 (-28 % gegenüber 2005).

Abbildung 3-33: Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen im MMS (1990–2035)



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

Tabelle 3-179: Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen im MMS, 1990-2035

Sektor ^b	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ 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
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	8,4	6,9	6,0	5,2
Gesamt	1.249,8	991,8	941,0	901,8	816,2	793,0	734,7	669,4
<i>ggü. 2005</i>	<i>26,0 %</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-5,1 %</i>	<i>-9,1 %</i>	<i>-17,7%</i>	<i>-20,0%</i>	<i>-25,9%</i>	<i>-32,5%</i>

Sektor ^b	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
<i>ggü. 1990</i>	0,0 %	-20,6 %	-24,7 %	-27,8 %	-34,7 %	-36,6 %	-41,2 %	-46,4 %
<i>ggü. Basisjahr^a</i>	-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
Gesamt inklusive nachrichtlich	1.237,1	1.009,9	957,2	918,1	879,7	840,9	792,7	727,3
<i>ggü. 2005</i>	22,5 %	0,0 %	-5,2 %	-9,1 %	-12,9 %	-16,7 %	-21,5 %	-28,0 %
<i>ggü. 1990</i>	0,0 %	-18,4 %	-22,6 %	-25,8 %	-28,9 %	-32,0 %	-35,9 %	-41,2 %
<i>ggü. Basisjahr^a</i>	-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: ^a Das Basisjahr ist 1990 für Kohlendioxid, Methan und Lachgas sowie 1995 für HFKW, FKW, Schwefelhexafluorid und Stickstofftrifluorid, die Basisjahremission wurde entsprechend berechnet.

^b Die Zuordnung der Quellgruppen zu den Handlungsfeldern weicht vom Sektorzuschnitt des Klimaschutzplans 2050 ab. Eine Darstellung der „Umrechnung“ für Vergleichszwecke findet sich in Tabelle A-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.¹³⁰ 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.¹³¹ 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 Emissionshandel erfasst werden. Hier treten naturgemäß Ungenauigkeiten auf, weil die Modellierung nicht emissionshandelspflichtige Anlagen abbildet, sondern die Sektoren des Inventars.

¹³⁰ Weder vom ETS noch vom ESD erfasst sind die NF₃-Emissionen.

¹³¹ Die Minderungsverpflichtungen der Mitgliedstaaten bis 2020 im Rahmen dieser Entscheidung wurden in absolute Emissionsbudgets umgerechnet, um den seit 2008 erfolgten Veränderungen in der Zuordnung der verschiedenen Quellbereiche zum Geltungsbereich der Effort-Sharing-Entscheidung und methodischen Änderungen bei der Inventarberechnung gerecht zu werden. Danach muss Deutschland 2020 ein Budget von 425,6 Mt CO₂e einhalten. Im MMS zeigen die Ergebnisse einen Rückgang der Emissionen bis 2020 auf etwa 426,5 Mt CO₂e.

Tabelle 3-180: Emissionsentwicklung im stationären Emissionshandel und in den ESD-Sektoren im MMS 2005-2035

	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e						
Emissionen stationärer ETS ^a	518,9	478,9	461,3	387,7	393,6	360,5	311,3
Emissionen ESD ^b	470,4	459,5	438,3	426,5	397,3	371,9	355,9
Summe ESD und stationärer ETS ^c	989,3	938,4	899,5	814,2	790,9	732,4	667,2
<i>Stationärer ETS ggü. 2005</i>	0,0 %	-7,7 %	-11,1 %	-25,3 %	-24,1 %	-30,5 %	-40,0 %
<i>ESD ggü. 2005</i>	0,0 %	-2,3 %	-6,8 %	-9,3 %	-15,5 %	-20,9 %	-24,3 %
NF ₃ (außerhalb von ESD und ETS) ^d	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: ^a Vom ETS erfasste Emissionen in der seit 2013 gültigen Abgrenzung. ^b 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. ^c Diese Summe ist kleiner als die nationalen Gesamtemissionen, da CO₂-Emissionen des nationalen Flugverkehrs sowie sämtliche NF₃-Emissionen weder vom stationären ETS noch vom ESD erfasst sind. ^d NF₃-Emissionen sind weder von ESD noch von ETS erfasst.

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 (CO₂), Methan (CH₄), Lachgas (N₂O), teilfluorierten Kohlenwasserstoffen (HFKW), perfluorierten Kohlenwasserstoffen (FKW) sowie Schwefelhexafluorid (SF₆) und Stickstofftrifluorid (NF₃) zusammengestellt. In dieser Zusammenstellung sind die Treibhausgasemissionen aus internationalen Treibstoffbunkerungen (Hochseeschifffahrt und internationaler Flugverkehr) sowie von LULUCF nicht berücksichtigt.

Bis zum Jahr 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-Weiteren-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 CO₂e, im Jahr 2025 bereits 33 Mt CO₂e und 53 Mt CO₂e im Jahr 2030.

Zwischen 1990 und 2014 wurden die jährlichen Emissionen von Kohlendioxid¹³² um fast 25 % reduziert. Im Jahr 2035 werden die CO₂-Emissionen fast 52 % niedriger liegen als 1990. Historisch und auch in der Projektion ist CO₂ das Gas mit dem größten Anteil an den gesamten deutschen Treibhausgasemissionen. 1990 hatte es einen Anteil von gut 84 %, 2014 sogar von fast 88 %. Bis 2035 wird dieser Anteil auf etwa 86 % zurückgehen. Die nicht in die Summe eingehenden und daher nur nachrichtlich ausgewiesenen CO₂-Emissionen aus der Verfeuerung von Biomasse vervielfachten sich zwischen 1990 und 2014 und werden ein Maximum etwa 2020 erreichen, um anschließend zurückzugehen.

¹³² Nicht berücksichtigt sind hier – wie auch in den übrigen CO₂-Emissionen dieses Berichts – die CO₂-Emissionen aus der Verbrennung von Biomasse.

Bei Methan sind die größten Emissionsminderungen bereits in der Vergangenheit zu verzeichnen: CH₄ war 1990 nach CO₂ das bedeutendste Treibhausgas und hatte einen Anteil von fast 10 % an den Gesamtemissionen. Da aber die CH₄-Emissionen bis zum Jahr 2014 um 54 % reduziert werden konnten, sank der Anteil auf nur noch gut 6 %. Bis zum Jahr 2035 sinken die CH₄-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 N₂O-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 3-181: Entwicklung der gesamten Emissionen nach Treibhausgasen im MWMS, 2005-2035

Treibhausgas	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
Kohlendioxid (CO ₂)a	1.052,2	866,0	832,3	792,9	704,8	666,9	595,9	509,7
Methan (CH ₄)	119,2	68,4	58,1	55,5	50,9	48,7	46,2	44,4
Lachgas (N ₂ O)	65,2	43,6	37,0	38,8	35,8	35,8	34,6	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 ₆)	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 ₃)	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gesamt	1.249,8	991,8	941,0	901,8	805,4	759,9	681,8	592,3
<i>ggü. 2005</i>	26,0 %	0,0 %	-5,1 %	-9,1 %	-18,8 %	-23,4 %	-31,3 %	-40,3 %
<i>ggü. 1990</i>	0,0 %	-20,6 %	-24,7 %	-27,8 %	-35,6 %	-39,2 %	-45,5 %	-52,6 %
<i>ggü. Basisjahr</i>	-0,3 %	-20,9 %	-24,9 %	-28,1 %	-35,8 %	-39,4 %	-45,6 %	-52,8 %
Nachrichtlich:								
CO ₂ 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: ^a 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-Weiteren-Maßnahmen-Szenario bieten Tabelle 3-182 sowie Abbildung 3-34.¹³³ In der nationalen Betrachtung ohne internationalen Luft- und Seeverkehr und ohne LULUCF sind die Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2014 bereits um fast 28 % gegenüber dem Jahr 1990 bzw. um gut 9 % gegenüber dem Jahr 2005 gesunken. Bis zum Jahr 2020 werden die Emissionen um 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 CO₂e bis 2020 und um 169 Mt CO₂e 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 CO₂e. War der Anteil der Energiewirtschaft an den Gesamtemissionen (ohne internationalen 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 CO₂e bzw. um 7 % gegenüber 2014 (41 % unterhalb von 1990), um danach bis 2035 um knapp 28 Mt CO₂e 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 CO₂e. 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 CO₂e bzw. 7 % gegenüber 2014 an (-52 % ggü. 1990) und sinken dann gegenüber dem Jahr 2014 um 13 Mt CO₂e 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 CO₂e. 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 CO₂e (-42 % ggü. 1990) und bis 2035 um 41 % bzw. 35 Mt CO₂e (-61 % ggü. 1990). Die zusätzliche Emissionsminderung der Haushalte im MWMS gegenüber dem MMS beträgt im Jahr 2035 knapp 2 Mt CO₂e. Der Anteil der Haushalte an den Emissionen bleibt bei etwa 9 %.

Nach der Energiewirtschaft und den privaten Haushalten weist der nationale Verkehr langfristig die größten absoluten Emissionsreduktionen auf. Im Jahr 2020 ist erst eine Reduktion von 3 Mt CO₂e bzw. 2 % gegenüber 2014 (-4 % ggü. 1990) zu verzeichnen. Bis zum Jahr 2035 steigt die Emissionsreduktion im nationalen Verkehr auf 33 Mt CO₂e bzw. 21 % gegenüber 2014 (-22 % ggü. 1990). Die zusätzliche Emissionsminderung des Verkehrs im MWMS gegenüber dem MMS beträgt im Jahr 2035 mehr als 21 Mt CO₂e. Dennoch setzt sich auch im MWMS 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.

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 %.

¹³³ Eine Übersicht der Emissionsentwicklung in den Sektordefinitionen des Klimaschutzplans 2050 der Bundesregierung bietet Tabelle A-5-3 im Anhang.

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 die bedeutendste Quelle für Treibhausgase außerhalb des Energiesektors geworden. Zudem ist die Landwirtschaft der einzige bedeutende Sektor, der in der Projektion nur sehr geringe Emissionsminderungen zu verzeichnen hat: Um knapp 3 Mt CO₂e bzw. 4 % (-20 % gegenüber 1990) bis 2020 gegenüber 2014 und gut 4 Mt CO₂e 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 CO₂e.

Die Abfallwirtschaft ist der Sektor mit den historisch höchsten relativen Emissionsminderungen (-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 0,6 Mt CO₂e. Die Abfallwirtschaft weist damit mit 88 % im Jahr 2035 weiterhin die größten relativen Emissionsminderungen gegenüber 1990 auf.

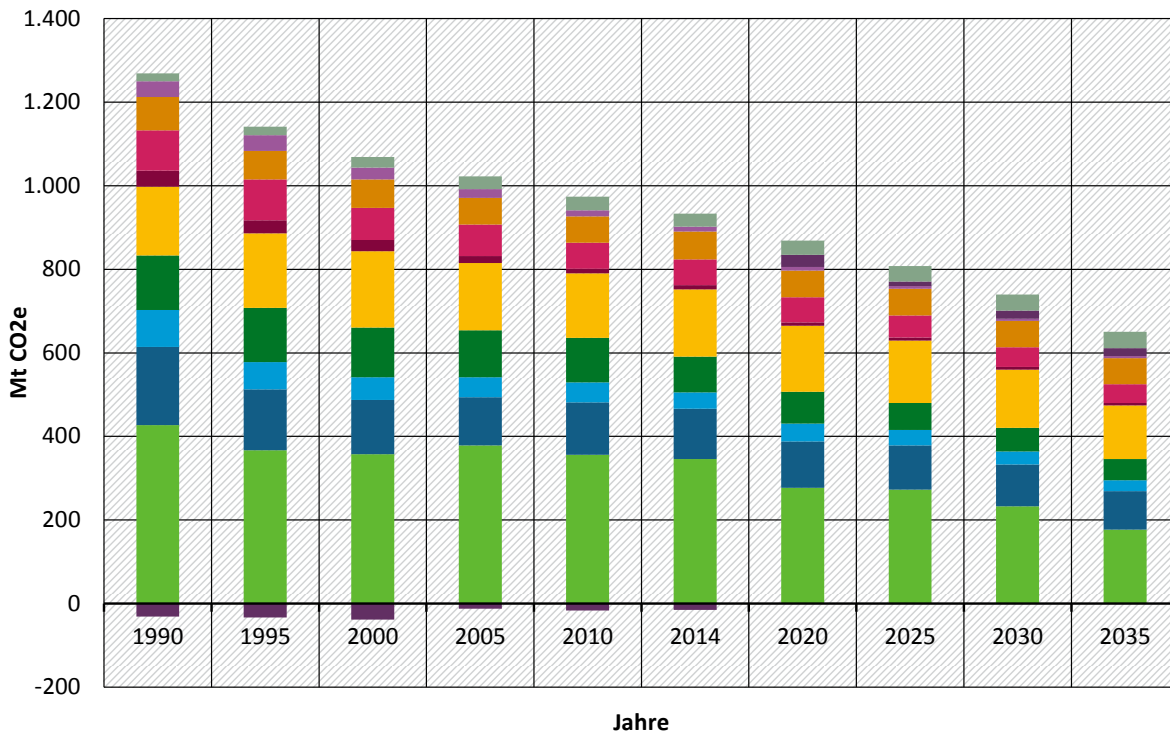
Der Anstieg der landwirtschaftlichen Emissionen und der nur noch geringe Rückgang der Emissionen der Abfallwirtschaft erklären den in Kapitel 3.4.2.1 beobachteten unterdurchschnittlichen Rückgang der Methan- und Lachgasemissionen.

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 CO₂ bzw. 10 % und bis zum Jahr 2035 um 8 Mt CO₂e bzw. 25 % gegenüber dem Jahr 2014 ansteigen. 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 im Jahr 2014 um knapp 26 % bzw. gut 9 % niedriger als 1990 bzw. 2005 und sinken gegenüber 1990 bis 2020 um 30 % (-14 % gegenüber 2005) und bis 2035 um 47 % gegenüber 1990 (-36 % gegenüber 2005).

Abbildung 3-34: Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen im MWMS (1990–2035)



- Energiewirtschaft
- Industrie
- GHD
- Haushalte
- Verkehr
- Diffuse Emissionen
- Industrieprozesse
- Landwirtschaft
- Abfallwirtschaft
- LULUCF
- Internat. Verkehr

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

Tabelle 3-182: Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen im MWMS, 1990-2035

Sektor ^b	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ 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
Gesamt	1.249,8	991,8	941,0	901,8	805,6	760,2	682,0	592,3
<i>ggü. 2005</i>	<i>26,0 %</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-5,1 %</i>	<i>-9,1 %</i>	<i>-18,8 %</i>	<i>-23,4 %</i>	<i>-31,2 %</i>	<i>-40,3 %</i>

Sektor ^b	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
<i>ggü. 1990</i>	0,0 %	-20,6 %	-24,7 %	-27,8 %	-35,5 %	-39,2 %	-45,4 %	-52,6 %
<i>ggü. Basisjahr^a</i>	-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
Gesamt inklusive nachrichtlich	1.237,1	1.009,9	957,2	918,1	869,1	808,1	740,0	650,2
<i>ggü. 2005</i>	22,5 %	0,0 %	-5,2 %	-9,1 %	-13,9 %	-20,0 %	-26,7 %	-35,6 %
<i>ggü. 1990</i>	0,0 %	-18,4 %	-22,6 %	-25,8 %	-29,7 %	-34,7 %	-40,2 %	-47,4 %
<i>ggü. Basisjahr^a</i>	-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: ^a Das Basisjahr ist 1990 für Kohlendioxid, Methan und Lachgas sowie 1995 für HFKW, FKW, Schwefelhexafluorid und Stickstofftrifluorid, die Basisjahremission wurde entsprechend berechnet.

^b Die Zuordnung der Quellgruppen zu den Handlungsfeldern weicht vom Sektorzuschnitt des Klimaschutzplans 2050 ab. Eine Darstellung der „Umrechnung“ für Vergleichszwecke findet sich in Tabelle A-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.¹³⁴ 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.¹³⁵

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 emissionshandlungspflichtige Anlagen abbildet, sondern die Sektoren des Inventars.

¹³⁴ Weder vom ETS noch vom ESD erfasst sind die NF₃-Emissionen.

¹³⁵ 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_{2e} einhalten. Im MWMS zeigen die Ergebnisse einen Rückgang der Emissionen bis 2020 auf etwa 419 Mt CO_{2e}.

Tabelle 3-183: Emissionsentwicklung im stationären Emissionshandel und in den ESD-Sektoren im MWMS 2005-2035

	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e						
Emissionen stationärer ETS ^a	518,9	478,9	461,3	384,4	375,3	330,5	269,0
Emissionen ESD ^b	470,4	459,5	438,3	419,0	382,8	349,4	321,3
Summe ESD und stationärer ETS ^c	989,3	938,4	899,5	803,4	758,0	679,9	590,3
<i>Stationärer ETS ggü. 2005</i>	0,0 %	-7,7 %	-11,1 %	-25,9 %	-27,7 %	-36,3 %	-48,2 %
<i>ESD ggü. 2005</i>	0,0 %	-2,3 %	-6,8 %	-10,9 %	-18,6 %	-25,7 %	-31,7 %
NF ₃ (außerhalb von ESD und ETS) ^d	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: ^a Vom ETS erfasste Emissionen in der seit 2013 gültigen Abgrenzung. ^b 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. ^c Diese Summe ist kleiner als die nationalen Gesamtemissionen, da CO₂-Emissionen des nationalen Flugverkehrs sowie sämtliche NF₃-Emissionen weder vom ETS noch vom stationären ESD erfasst sind. ^d NF₃-Emissionen sind weder von ESD noch von ETS erfasst.

3.4.3 Ergebnisse der Projektion des Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenarios

3.4.3.1 Entwicklung der Treibhausgasemissionen nach Treibhausgasen

In Tabelle 3-178 ist die Entwicklung der Emissionen von Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄), Lachgas (N₂O), teilfluorierten Kohlenwasserstoffen (HFKW), perfluorierten Kohlenwasserstoffen (FKW) sowie Schwefelhexafluorid (SF₆) und Stickstofftrifluorid (NF₃) zusammengestellt. In dieser Zusammenstellung sind die Treibhausgasemissionen aus internationalen Treibstoffbunkerungen (Hochseeschifffahrt und internationaler Flugverkehr) sowie von LULUCF nicht berücksichtigt.

Bis zum Jahr 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 39,1 % (-23 % gegenüber 2005) und bis zum Jahr 2030 um 57 % (-46 % gegenüber 2005). Das Ziel der Bundesregierung einer Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2020 um 40 % gegenüber 1990 wird damit nur knapp verfehlt. Das Ziel der Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2030 um 55 % gegenüber 1990 hingegen wird im Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario erreicht und sogar um zwei Prozentpunkte übertroffen.

Zwischen 1990 und 2014 wurden die jährlichen Emissionen von Kohlendioxid¹³⁶ um fast 25 % reduziert. Im Jahr 2035 werden die CO₂-Emissionen gut 69 % niedriger liegen als 1990. Historisch und auch in der Projektion ist CO₂ das Gas mit dem größten Anteil an den gesamten deutschen Treibhausgasemissionen. 1990 hatte es einen Anteil von gut 84 %, 2014 sogar von fast 88 %. Bis 2035 wird dieser Anteil auf etwa 82 % zurückgehen. Die nicht in die Summe eingehenden und daher nur nachrichtlich ausgewiesenen CO₂-Emissionen aus der Verfeuerung von Biomasse vervielfachten sich zwischen 1990 und 2014 und werden ein Maximum etwa 2020 erreichen, um anschließend leicht zurückzugehen.

¹³⁶ Nicht berücksichtigt sind hier – wie auch in den übrigen CO₂-Emissionen dieses Berichts – die CO₂-Emissionen aus der Verbrennung von Biomasse.

Bei Methan sind die größten Emissionsminderungen bereits in der Vergangenheit zu verzeichnen: CH₄ war 1990 nach CO₂ das bedeutendste Treibhausgas und hatte einen Anteil von fast 10 % an den Gesamtemissionen. Da aber die CH₄-Emissionen bis zum Jahr 2014 um 54 % reduziert werden konnten, sank der Anteil auf nur noch gut 6 %. Bis zum Jahr 2035 sinken die CH₄-Emissionen um fast 65 % gegenüber 1990. Da aber hier die Emissionsminderungen insbesondere nach 2020 unterproportional sind, steigt der Anteil bis 2035 wieder an auf fast 11 %.

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 in den anderen beiden Szenarien sind beim Lachgas im MEMS weitere größere Emissionsreduktionen zu verzeichnen. 2035 werden die N₂O-Emissionen um 61 % niedriger als im Jahr 1990 sein. Der Anteil der Lachgasemissionen steigt auf über 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 1,8 % ansteigen, um anschließend bis 2035 auf 1,2 % abzusinken – der Anteil im Jahr 2035 ist damit höher als der im Jahr 1990.

Tabelle 3-184: Entwicklung der gesamten Emissionen nach Treibhausgasen im MEMS, 1990-2035

Treibhausgas	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
Kohlendioxid (CO ₂) ^a	1.052,2	866,0	832,3	792,9	661,5	575,4	460,2	327,6
Methan (CH ₄)	119,2	68,4	58,1	55,5	50,5	47,8	44,6	42,3
Lachgas (N ₂ O)	65,2	43,6	37,0	38,8	34,7	30,5	27,8	25,6
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 ₆)	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 ₃)	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gesamt	1.249,8	991,8	941,0	901,8	760,5	662,3	537,7	400,4
<i>ggü. 2005</i>	26,0 %	0,0 %	-5,1 %	-9,1 %	-23,3%	-33,2%	-45,8%	-59,6%
<i>ggü. 1990</i>	0,0 %	-20,6 %	-24,7 %	-27,8 %	-39,1%	-47,0%	-57,0%	-68,0%
<i>ggü. Basisjahr</i>	-0,3 %	-20,9 %	-24,9 %	-28,1 %	-39,3%	-47,2%	-57,1%	-68,1%
Nachrichtlich:								
CO ₂ aus Biomasseverfeuerung	21,8	59,3	108,5	98,5	113,4	109,5	99,0	90,4

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

Anmerkung: ^a Ohne CO₂ aus Biomasseverfeuerung. ^b Das Basisjahr ist 1990 für Kohlendioxid, Methan und Lachgas sowie 1995 für HFKW, FKW und Schwefelhexafluorid, die Basisjahremission wurden entsprechend berechnet.

3.4.3.2 Entwicklung der Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen

Eine nach Quellbereichen strukturierte Übersicht über die Emissionsentwicklung im Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario bieten Tabelle 3-185 sowie Abbildung 3-35¹³⁷. 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 um 39 % gegenüber 1990 (-23 % gegenüber 2005) und bis zum Jahr 2035 um 68 % gegenüber 1990 (-60 % gegenüber 2005) sinken.

Etwas mehr als die Hälfte der von 2014 bis zum Jahr 2035 erzielten Emissionsminderung wird von der Energiewirtschaft erbracht. Die Emissionen sinken hier gegenüber dem Jahr 2014 absolut um fast 260 Mt CO_{2e}, was einer Reduktion um 75 % entspricht. Bereits bis zum Jahr 2020 sinken die Emissionen in der Energiewirtschaft durch den starken Rückgang der Stromerzeugung aus Braunkohle im Vergleich zum Jahr 2014 um 112 Mt CO_{2e} oder ein Drittel. Dies entspricht fast 80 % der gesamten Emissionsminderung im MEMS zwischen 2014 und 2020. Im Vergleich zum Jahr 1990 werden die Emissionen der Energiewirtschaft bis zum Jahr 2020 um 45 % und bis zum Jahr 2035 um 80 % reduziert. Die zusätzliche Emissionsminderung der Energiewirtschaft im MEMS gegenüber dem MMS beträgt im Jahr 2035 fast 134 Mt CO_{2e}. Der Anteil der Energiewirtschaft an den Gesamtemissionen (ohne internationalen Verkehr und LULUCF) sinkt von 34 % im Jahr 1990 auf 22 % im Jahr 2035.

Nach der Energiewirtschaft weist im MEMS der nationale Verkehr die absolut gesehen zweithöchste langfristige Emissionsminderung auf. Im Jahr 2020 ist zwar erst eine Reduktion von 3 Mt CO_{2e} bzw. 2 % gegenüber 2014 (-4 % ggü. 1990) zu verzeichnen. Bis zum Jahr 2035 steigt die Emissionsreduktion im nationalen Verkehr jedoch auf 95 Mt CO_{2e} bzw. 59 % gegenüber 2014 (-60 % ggü. 1990) an. Die zusätzliche Emissionsminderung des Verkehrs im MEMS gegenüber dem MMS beträgt im Jahr 2035 83 Mt CO_{2e}. Im Gegensatz zum MMS und MWMS bleibt der Anteil der Emissionen im Verkehrssektor an den Gesamtemissionen fast gleich wie im Jahr 2014 und liegt bei 17 % (MMS und MWMS: 22 %). Im Vergleich zum Jahr 1990 stellt dies eine leichte Erhöhung dar.

Mit einer Minderung von 48 Mt CO_{2e} im Jahr 2035 bzw. -56 % gegenüber 2014 (-71 % ggü. 1990) trägt auch der Sektor private Haushalte stark zur projizierten Emissionsreduktion im MEMS bei. Die zusätzliche Emissionsminderung der Haushalte im MEMS gegenüber dem MMS beträgt im Jahr 2035 15 Mt CO_{2e}. Bis zum Jahr 2020 unterscheidet sich die Minderung im MEMS jedoch noch nicht wirklich von der im MMS oder MWMS. Der Anteil der Haushalte an den Emissionen bleibt bei etwa 9 %.

Die energiebedingten Industrieemissionen sinken bis zum Jahr 2035 um mehr als 37 Mt CO_{2e} bzw. 31 % gegenüber 2014 (-56 % ggü. 1990). Im Jahr 2020 beträgt die Minderung im Vergleich zum Jahr 2014 wie im MWMS -9 %. Die zusätzliche Minderung der energiebedingten Industrieemissionen im MEMS gegenüber dem MMS beträgt im Jahr 2035 über 15 Mt CO_{2e}. Insgesamt steigt der Anteil der Industrieemissionen von 13 % im Jahr 2014 auf 21 % im Jahr 2035 und liegt damit deutlich höher als in den anderen Szenarien.

Die Treibhausgasemissionen des Sektors Gewerbe, Handel und Dienstleistungen unterschieden sich erst nach dem Jahr 2020 vom MMS und MWMS. Bis zum Jahr 2035 sinken sie gegenüber dem Jahr 2014 um 22 Mt CO_{2e} bzw. 55 % (-80 % ggü. 1990). Die zusätzliche Emissionsminderung des GHD-Sektors im MEMS gegenüber dem MMS beträgt im Jahr 2035 mehr als 10 Mt CO_{2e}. Der Anteil von GHD an den Gesamtemissionen bleibt – wie in den anderen beiden Szenarien – bei etwa 4 %.

Die diffusen Emissionen der Energiesektoren weisen geringe absolute aber hohe relative Emissionsminderungen auf, wobei der Großteil der Minderung bereits in der Vergangenheit zu verzeichnen war.

¹³⁷ 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 zusätzlichen Emissionsminderungen im MEMS sind nur minimal. Der relative Anteil an den Gesamtemissionen steigt leicht auf 2 %.

Von den Nicht-Energie-Emissionen waren die Emissionen aus Industrieprozessen 1990 die bedeutendsten und machten damals 8 % der Gesamtemissionen aus. Im MEMS steigt dieser Anteil auf 11 % an. Die Emissionen aus Industrieprozessen werden im MEMS 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 die bedeutendste Quelle für Treibhausgase außerhalb des Energiesektors geworden. Zudem ist die Landwirtschaft – auch im MEMS – der einzige bedeutende Sektor, der in der Projektion nur geringe Emissionsminderungen zu verzeichnen hat: Um gut 12 Mt CO₂e bzw. 19 % bis 2035 gegenüber 2014 (-32 % gegenüber 1990). Dies bedeutet auch, dass sich der Anteil der Landwirtschaft an den Gesamtemissionen von 7 % im Jahr 2014 auf 14 % im Jahr 2035 verdoppelt. Die zusätzliche Emissionsminderung der Landwirtschaft im MEMS gegenüber dem MMS beträgt im Jahr 2035 10 Mt CO₂e.

Die Abfallwirtschaft ist der Sektor mit den historisch höchsten relativen Emissionsminderungen (-70 % im Jahr 2014 gegenüber 1990). Bis zum Jahr 2035 gehen die Emissionen im MEMS weiter zurück. Die zusätzliche Emissionsminderung im Jahr 2035 im MEMS gegenüber dem MMS beträgt 1 Mt CO₂e. Die Abfallwirtschaft weist damit mit 89 % im Jahr 2035 auch im MEMS weiterhin die größten relativen Emissionsminderungen gegenüber 1990 auf.

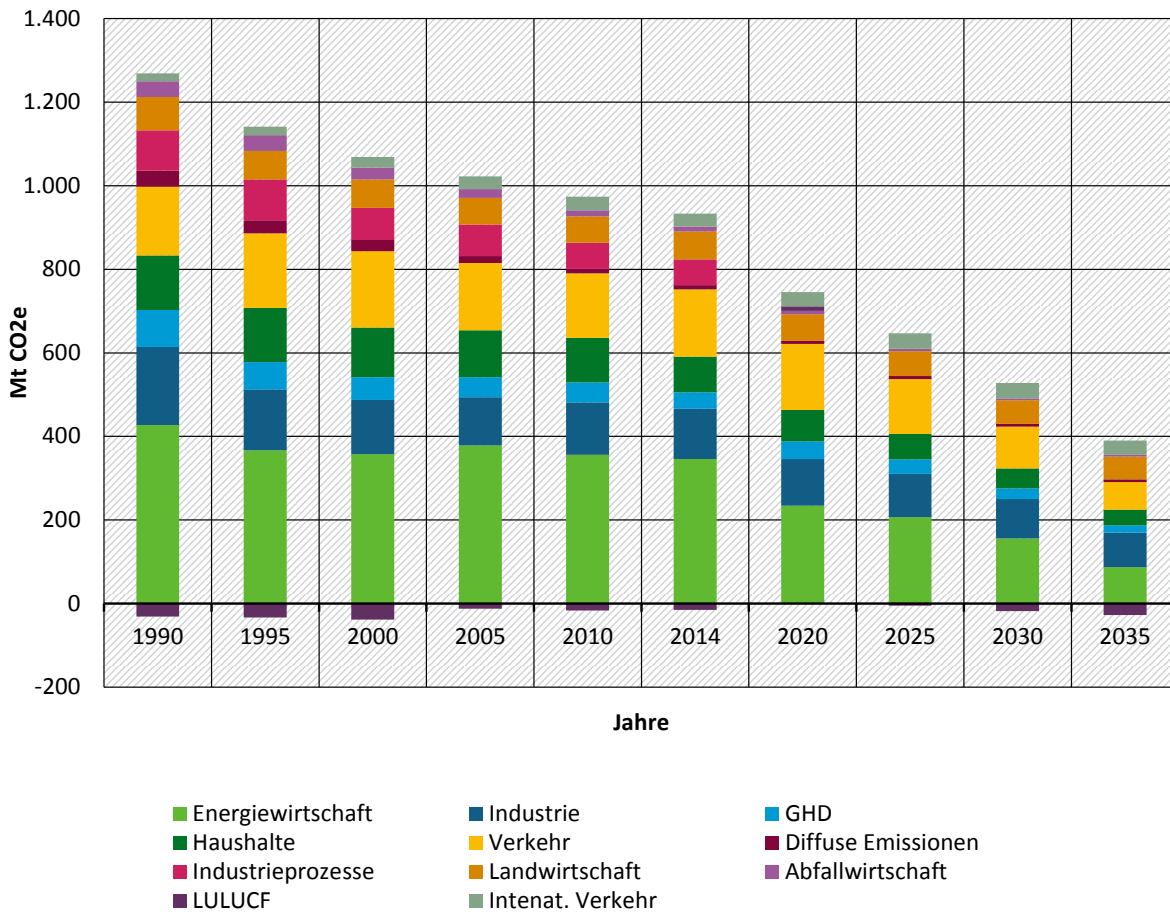
Der Anstieg des Anteils der landwirtschaftlichen Emissionen und der nur noch geringe Rückgang der Emissionen der Abfallwirtschaft erklären den in Kapitel 3.4.3.1 beobachteten unterdurchschnittlichen Rückgang der Methan- und Lachgasemissionen.

Der LULUCF-Sektor war in der Vergangenheit eine Senke, in der Projektion des MEMS wird er dies auch nach dem Jahr 2020 immer stärker, bis fast auf das Niveau des Jahres 1990 in 2035. Im Jahr 2020 ist der Sektor hingegen eine Emissionsquelle. Hier wird aber auf das Kapitel 3.1.13 verwiesen.

Die Emissionen aus dem Deutschland zuzuordnenden 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 CO₂ bzw. 10 % gegenüber dem Jahr 2014 ansteigen. Mit über 37 Mt CO₂e erreichen die Emissionen in der Projektion des MEMS im Jahr 2030 die höchsten Emissionen und gehen bis zum Jahr 2035 wieder auf den Wert von 2020 zurück. Das bedeutet, dass die Emissionen des internationalen Luft- und Seeverkehrs in den Jahren 2020 und 2035 um 85 % höher als im Jahr 1990 sind.

Unter Berücksichtigung der Emissionen aus internationalem See- und Luftverkehr lagen die Emissionen im Jahr 2014 um knapp 26 % bzw. gut 9 % niedriger als 1990 bzw. 2005 und sinken gegenüber 1990 bis 2020 um 35 % (-20 % gegenüber 2005) und bis 2035 um 67 % gegenüber 1990 (-60 % gegenüber 2005).

Abbildung 3-35: Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen im MEMS (1990–2035)



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

Tabelle 3-185: Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen im MEMS, 1990-2035

Sektor ^b	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
Energiewirtschaft	427,4	378,8	356,2	346,3	234,7	206,7	156,2	87,5
Industrie	186,7	115,2	125,2	119,7	111,2	104,1	94,1	82,4
GHD	88,4	47,9	47,6	39,5	41,9	34,7	25,5	17,6
Haushalte	130,8	111,9	106,9	85,2	75,3	61,0	48,1	37,4
Verkehr	164,4	161,4	154,2	161,1	158,3	131,1	99,5	66,1
Diffuse Emissionen aus Brennstoffen	38,0	16,4	11,3	10,5	7,6	7,1	6,6	6,2
Industrieprozesse	96,4	75,3	62,0	61,0	60,1	52,3	46,7	44,6
Landwirtschaft	79,8	63,6	63,0	66,9	63,3	59,3	56,3	54,4
Abfallwirtschaft	38,0	21,2	14,6	11,6	8,2	6,1	4,8	4,2
Gesamt	1.249,8	991,8	941,0	901,8	760,5	662,3	537,7	400,4
<i>ggü. 2005</i>	<i>26,0 %</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-5,1 %</i>	<i>-9,1 %</i>	<i>-23,3%</i>	<i>-33,2%</i>	<i>-45,8%</i>	<i>-59,6%</i>

Sektor ^b	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
<i>ggü. 1990</i>	0,0 %	-20,6 %	-24,7 %	-27,8 %	-39,1%	-47,0%	-57,0%	-68,0%
<i>ggü. Basisjahr^a</i>	-0,3 %	-20,9 %	-24,9 %	-28,1 %	-39,3%	-47,2%	-57,1%	-68,1%
Nachrichtlich:								
LULUCF	-31,3	-12,1	-16,3	-15,0	10,6	-4,5	-18,2	-27,2
Internationaler Luft- und Seeverkehr	18,6	30,1	32,5	31,3	34,4	36,8	37,2	34,4
Gesamt inklusive nachrichtlich	1.237,1	1.009,9	957,2	918,1	805,5	694,5	556,7	407,6
<i>ggü. 2005</i>	22,5 %	0,0 %	-5,2 %	-9,1 %	-20,2%	-31,2%	-44,9%	-59,6%
<i>ggü. 1990</i>	0,0 %	-18,4 %	-22,6 %	-25,8 %	-34,9%	-43,9%	-55,0%	-67,1%
<i>ggü. Basisjahr^a</i>	-0,3 %	-18,6 %	-22,9 %	-26,0 %	-35,1%	-44,0%	-55,1%	-67,2%

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

Anmerkung: ^a Das Basisjahr ist 1990 für Kohlendioxid, Methan und Lachgas sowie 1995 für HFKW, FKW, Schwefelhexafluorid und Stickstofftrifluorid, die Basisjahremission wurde entsprechend berechnet.

^b Die Zuordnung der Quellgruppen zu den Handlungsfeldern weicht vom Sektorzuschnitt des Klimaschutzplans 2050 ab. Eine Darstellung der „Umrechnung“ für Vergleichszwecke findet sich in Tabelle A-5-3.

3.4.3.3 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.¹³⁸ Bis 2020 gehen die Emissionen von stationären Anlagen im Emissionshandel um 35 % gegenüber dem Jahr 2005 zurück. Die Emissionen in den von der Effort-Sharing-Decision erfassten Sektoren gehen bis 2020 um 10 % zurück.¹³⁹ Im Zeitraum von 2020 bis 2030 gehen die Emissionen von stationären Anlagen in den vom Emissionshandel erfassten Sektoren um 19 Prozentpunkte zurück, die Emissionen in den von der Effort-Sharing-Decision erfassten Sektoren gehen um 27 Prozentpunkte zurück. Nach 2030 nimmt die Minderungsgeschwindigkeit im ETS noch deutlich 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 Emissionshandel erfasst werden. Hier treten naturgemäß Ungenauigkeiten auf, weil die Modellierung nicht emissionshandelspflichtige Anlagen abbildet, sondern die Sektoren des Inventars.

¹³⁸ Weder vom ETS noch vom ESD erfasst sind die NF₃-Emissionen.

¹³⁹ Die Minderungsverpflichtungen der Mitgliedstaaten bis 2020 im Rahmen dieser Entscheidung wurden in absolute Emissionsbudgets umgerechnet, um den seit 2008 erfolgten Veränderungen in der Zuordnung der verschiedenen Quellbereiche zum Geltungsbereich der Effort-Sharing-Entscheidung und methodischen Änderungen bei der Inventarberechnung gerecht zu werden. Danach muss Deutschland 2020 ein Budget von 425,6 Mt CO₂e einhalten. Im MMS zeigen die Ergebnisse einen Rückgang der Emissionen bis 2020 auf etwa 426,5 Mt CO₂e.

Tabelle 3-186: Emissionsentwicklung im stationären Emissionshandel und in den ESD-Sektoren im MMS 2005-2035

	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e						
Emissionen stationärer ETS ^a	518,9	478,9	461,3	336,0	300,7	240,5	160,8
Emissionen ESD ^b	470,4	459,5	438,3	422,3	359,4	295,2	237,8
Summe ESD und stationärer ETS ^c	989,3	938,4	899,5	758,3	660,1	535,7	398,6
<i>Stationärer ETS ggü. 2005</i>	0,0 %	-7,7 %	-11,1 %	-35,2%	-42,1%	-53,7%	-69,0%
<i>ESD ggü. 2005</i>	0,0 %	-2,3 %	-6,8 %	-10,2%	-23,6%	-37,2%	-49,4%
NF ₃ (außerhalb von ESD und ETS) ^d	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), (EEA 2017), Berechnungen des Öko-Institut

Anmerkung: ^a Vom ETS erfasste Emissionen in der seit 2013 gültigen Abgrenzung. ^b 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. ^c Diese Summe ist kleiner als die nationalen Gesamtemissionen, da CO₂-Emissionen des nationalen Flugverkehrs sowie sämtliche NF₃-Emissionen weder vom stationären ETS noch vom ESD erfasst sind. ^d NF₃-Emissionen sind weder von ESD noch von ETS erfasst.

3.4.4 Kumulierte Treibhausgasemissionen

Für die Wirkung der Treibhausgasemissionen auf die Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre und folglich die globale Erwärmung sind vor allem die kumulierten Emissionen über längere Zeiträume relevant.

Im Mit-Maßnahmen-Szenario werden im Betrachtungszeitraum 2015 bis 2035, also in 21 Jahren, 16,4 Gt CO₂e¹⁴⁰ emittiert. Zum Vergleich, in den 25 Jahren zwischen 1990 und 2014, dem letzten Jahr für das in diesem Bericht historische Emissionsdaten berücksichtigt wurden, emittierte Deutschland 26,0 Gt CO₂e. Im MMS hat die Energiewirtschaft mit 5,9 Gt CO₂ kumulierten Emissionen von 2015–2035 mit knapp 36 % den mit Abstand größten Anteil, gefolgt vom Verkehr (3,2 Gt CO₂e, entsprechend knapp 20 %) und der Industrie (2,2 Gt CO₂e bzw. fast 14 %).

Die Maßnahmen im Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario führen zu einer über den kompletten Szenarienzeitraum betrachteten Einsparung von etwa 0,7 Gt CO₂e, sodass über diesen Zeitraum mit 15,7 Gt CO₂e etwa 4 % weniger Treibhausgase emittiert werden. Die kumulierten Emissionen der Energiewirtschaft im MWMS liegen mit 5,5 Gt CO₂e zwar um 8 % niedriger als im MMS, die Energiewirtschaft hat aber nach wie vor den weitaus größten Anteil (35 %) an den kumulierten Emissionen.

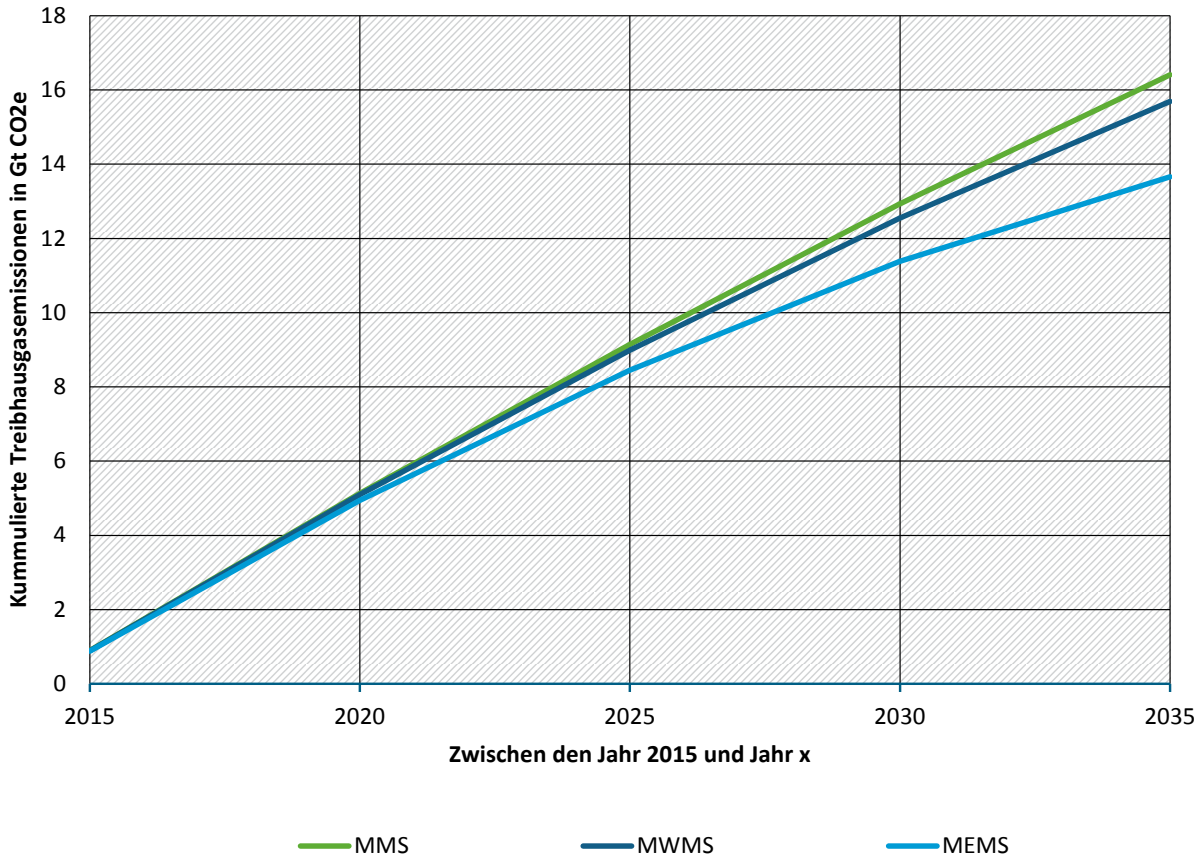
Im Mit-erweiterten-Maßnahmen-Szenario ist die kumulierte Emissionsminderung mit 2,7 Gt CO₂e gegenüber dem MMS deutlich stärker als im MWMS, sodass zwischen 2015 und 2035 nur noch 13,7 Gt CO₂e emittiert werden. Dies sind gut 16 % weniger als im MMS. Die vermiedenen 2,7 Gt CO₂e sind das Dreifache dessen, was Deutschland im kompletten Jahr 2014 emittierte. Die kumulierten Emissionen der Energiewirtschaft im MWMS liegen mit 4,2 Gt CO₂e zwar um 28 % niedriger als im MMS, die Energiewirtschaft hat aber nach wie vor den weitaus größten Anteil (31 %) an den kumulierten Emissionen, gefolgt von der Industrie (3,3 Gt CO₂e bzw. 24 %) und dem Verkehr (2,6 Gt CO₂e bzw. 19 %).

Einen graphischen Vergleich der kumulierten Emissionen der drei Szenarien bietet Abbildung 3-36. Die Maßnahmen im MEMS haben nicht nur eine stärkere, sondern auch frühere Treibhausminde-

¹⁴⁰ Alle Werte in diesem Abschnitt ohne internationalen Verkehr und ohne LULUCF.

rungsminderungswirkung als die Maßnahmen im MWMS. Dies zeigt sich darin, dass der Verlauf der kumulierten Emissionen des MEMS in diesem Diagramm nicht nur flacher und stärker gekrümmt ist als der Verlauf des MWMS, sondern auch früher vom Verlauf des MMS deutlich abweicht.

Abbildung 3-36: Kumulierte Treibhausgasemissionen im Vergleich der Szenarien



Quelle: Berechnungen Öko-Institut und Fraunhofer ISI

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 2017 wurde für die Szenarienrechnungen den Empfehlungen der Europäischen Kommission aus (EC 2016a) entsprochen. Anfang 2017, zum Zeitpunkt der Fertigstellung des MMS und MWMS lag das Preisniveau jedoch sowohl auf den Energiemärkten 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 in allen drei 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. 70. Zusätzlich wurde für das MWMS der Effekt niedrigerer Exporte im Stromsektor betrachtet.

Tabelle 3-187: Energie- und CO₂-Preise für die Sensitivitätsrechnung „Niedrige Preise“

	2020	2025	2030	2035
--	------	------	------	------

	€ ₂₀₁₃ /GJ bzw. € ₂₀₁₃ /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. 70.

Für die Sensitivitätsanalyse kommen zwei Methoden zum Einsatz:

- eine Komponentenzzerlegung aufbauend auf Diekmann et al. (1999) für den Einfluss von Bevölkerungsentwicklung und Wirtschaftswachstum auf energiebedingte THG-Emissionen;¹⁴¹
- 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):

- Bevölkerungszahl;
- Bruttoinlandsprodukt pro Kopf;
- Energieintensität der Wirtschaft (Energie pro Euro Bruttoinlandsprodukt);¹⁴²
- Anteil erneuerbarer Energien;
- Treibhausgasintensität der fossilen Energieträger (Veränderung des Energieträgermixes).

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 CO₂-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 CO₂-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 in den Szenarien ermittelten Kraftwerksparks in allen Szenariojahren mit den geänderten Preisannahmen durchgeführt. Die Differenz in der Stromerzeugung nach Brennstoffen und den CO₂-Emissionen illustriert die Sensitivität für veränderte Brennstoff- und CO₂-Preise.

¹⁴¹ Inklusive energiebedingte CH₄- und N₂O-Emissionen. Für Konsistenz mit der Bilanzierung des inländischen Primärenergieverbrauchs werden Emissionen aus dem internationalen Luftverkehr, nicht aber dem internationalen Seeverkehr, eingeschlossen.

¹⁴² Ohne Bereinigung von statistischen Artefakten auf Grund der primärenergieseitigen Bewertung von erneuerbaren Energien und Kernenergie

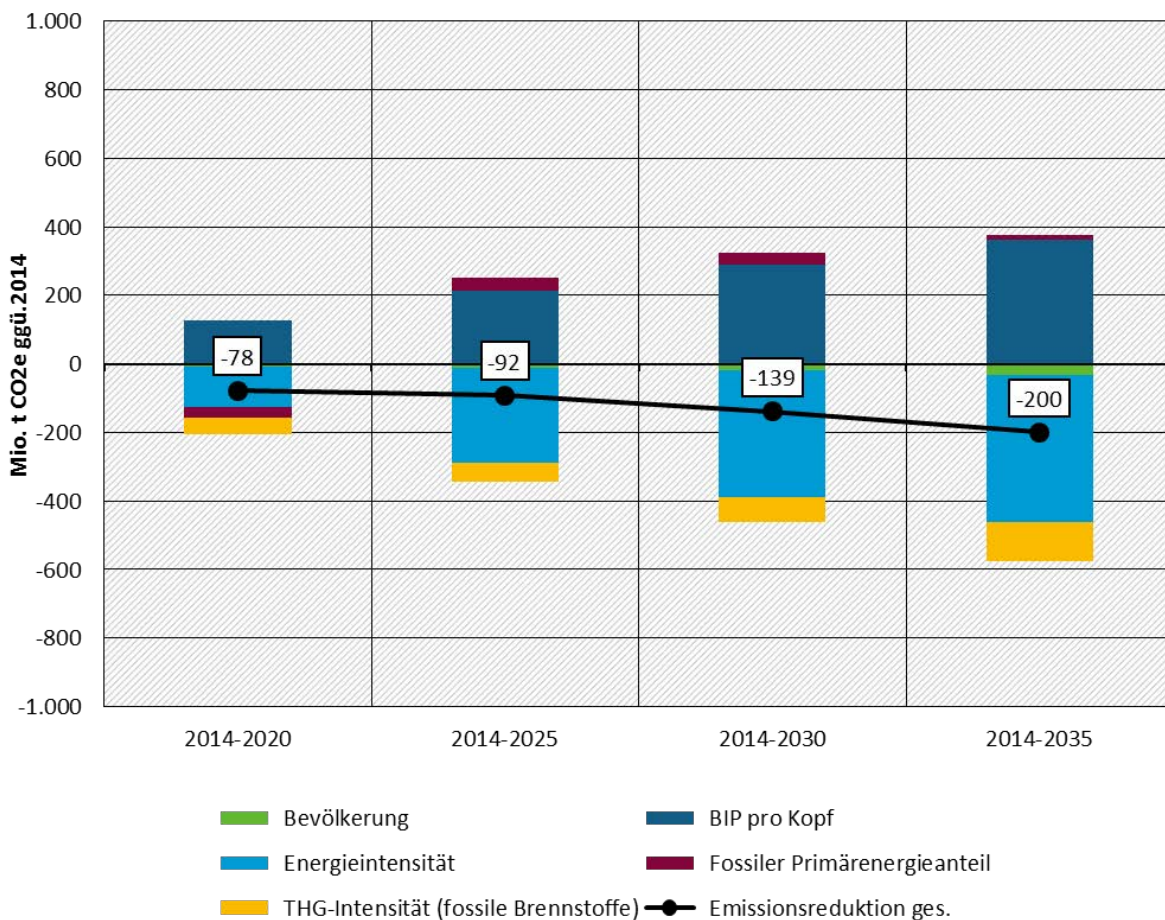
3.5.1 Mit-Maßnahmen-Szenario

3.5.1.1 Wirtschaftswachstum und demographische Entwicklung

Abbildung 3-37 zeigt das Ergebnis der Komponentenanalyse für das MMS, in dem die energiebedingten Emissionen von 2014 bis 2035 um 200 Mt CO₂e sinken. In der Abbildung ist dargestellt, welchen steigenden 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.
- b) Die sinkende Emissionsintensität der verbleibenden fossilen Brennstoffe leistet einen deutlichen Beitrag zur Emissionsminderung (-115 Mt CO₂e).
- 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 CO₂e brutto wirken, wird jedoch durch die verbesserte Energieeffizienz (-429 Mt CO₂e) ausgeglichen, so dass im Saldo eine Emissionsminderung steht.

Abbildung 3-37: 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. Bevölkerungsvorausrechnung 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_{2e} 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_{2e} 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 3-190, unten, vollständig dargestellt.

3.5.1.2 EUA- und Brennstoffpreise im Stromsektor

Die folgenden Tabellen zeigen die Emissionen (nur die des Stromsektors) im MMS mit niedrigeren Brennstoff- und CO₂-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 CO₂). 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 3-188: Veränderung der Stromerzeugung bei geringeren Brennstoff- und CO₂-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 3-189: Veränderung der CO₂-Emissionen des Stromsektors bei geringeren Brennstoff- und CO₂-Preisen, MMS¹⁴³

	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂			
Differenz	-0,6	0,1	1,2	-0,4

Quelle: Berechnungen Öko-Institut

¹⁴³ Die hier dargestellten CO₂-Emissionen des Stromsektors wurden nicht den Bereinigungen unterzogen, die in Tabelle 3-89 vorgenommen werden, und weichen deshalb leicht ab. Dort werden insbesondere die Emissionen aus der Rauchgasentschwefelung berücksichtigt sowie Emissionsfaktoren der Kraftwerke nach Sektoren feiner differenziert.

3.5.1.3 Ergebnis im MMS

Tabelle 3-190 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 3-190: Entwicklung der Treibhausgasemissionen für die Sensitivitätsrechnungen (MMS)

	1990	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO ₂ e						
Emissionen im Energiesektor (inkl. int. Flugverkehr)						
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
Niedrigere CO ₂ - und Brennstoffpreise			709,3	695,0	647,0	587,3
Weniger Stromexport			673,6			
Differenz gegenüber MMS						
Stärkeres Wirtschaftswachstum			12,7	12,4	18,2	25,5
Höhere Bevölkerung			10,6	7,8	5,7	3,7
Niedrigere CO ₂ - und Brennstoffpreise			0,6	-0,1	-1,2	0,4
Weniger Stromexport			-35,3			
Gesamtemissionen (ohne int. Verkehr & LULUCF)						
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 ₂ - und Brennstoffpreise			816,9	793,0	733,3	669,7
Weniger Stromexport			780,6			
Minderung Gesamtemissionen ggü. 1990 (%):						
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 ₂ - 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

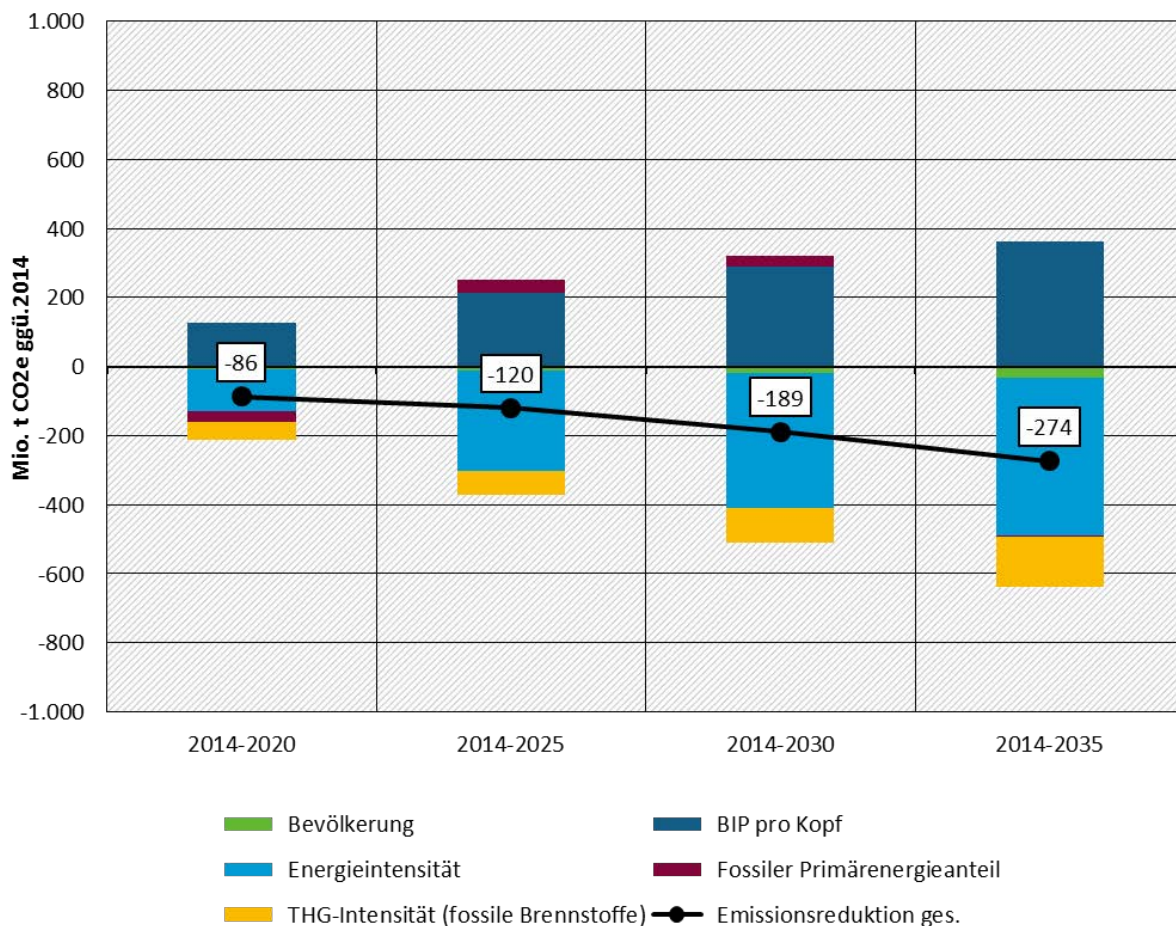
Die Komponenten- und Sensitivitätsanalyse wurde wie in der Einleitung beschrieben auch für das Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS) durchgeführt, hinzu kommt eine Betrachtung für geringere Stromexporte. Verändert wurde nur das zu Grunde liegende Szenario, alle weiteren Parameter für die Sensitivitätsanalyse sind dieselben wie in der Analyse des MMS.

3.5.2.1 Wirtschaftswachstum und demographische Entwicklung

Abbildung 3-38 zeigt das Ergebnis der Komponentenanalyse für das MWMS, in dem die energiebedingten Emissionen von 2014 bis 2035 bereits um 274 Mt CO₂e sinken (ggü. 200 Mio. t im MMS). Wo sich Treibergrößen zwischen den Szenarien unterscheiden, verändert sich der Einfluss auf die Emissionen:

- a) Der fossile Anteil am Primärenergieverbrauch ist etwas geringer als im MMS, dieser Unterschied hat nur einen minimalen emissionsenkenden Effekt. Gewichtiger ist der emissionsärmer werdende fossile Brennstoffmix im MWMS (-143 Mt CO₂e ggü. -115 Mt CO₂e 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 CO₂e ggü. -429 Mt CO₂e im MMS bis 2035).
- c) Pro-Kopf-Wirtschaftswachstum und Bevölkerungsrückgang unterscheiden sich nicht vom MMS.

Abbildung 3-38: 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 CO₂e führen (ggü. 25 Mt CO₂e im MMS; 2,1 Prozentpunkte geringere Minderung bezogen auf 1990). Eine geringere Abnahme der Bevölkerung würde zusätzliche Emissionen von knapp 3 Mt CO₂e verursachen (4 Mio. t im MMS bzw. 0,4 Prozentpunkte bezogen auf 1990). Die wirtschaftliche Entwicklung bleibt (im Rahmen der aktuellen Prognoseszenarien) auch im MWMS die gewichtigere Einflussgröße. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3-194 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 CO₂-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 Grundscenario nicht verändert.

In der Sensitivitätsanalyse des MWMS ist die Veränderung der Stromerzeugung und der Emissionen in der Größenordnung mit dem MMS vergleichbar (Tabelle 3-191). 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 3-192; unter 1 Mt CO₂).

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 3-191: Veränderung der Stromerzeugung bei geringeren Brennstoff- und CO₂-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 3-192: Veränderung der CO₂-Emissionen des Stromsektors bei geringeren Brennstoff- und CO₂-Preisen, MWMS¹⁴⁴

	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂			
Differenz	-0,4	0,1	2,3	-0,3

Quelle: Berechnungen Öko-Institut

¹⁴⁴ Die hier dargestellten CO₂-Emissionen des Stromsektors wurden nicht den Bereinigungen unterzogen, die in Tabelle 3-89 vorgenommen werden, und weichen deshalb leicht ab. Dort werden insbesondere die Emissionen aus der Rauchgasentschwefelung berücksichtigt sowie Emissionsfaktoren der Kraftwerke nach Sektoren feiner differenziert.

Außerdem wurde wie im Projektionsbericht 2015 eine Sensitivitätsanalyse berechnet, bei der für das Jahr 2020 geringere Stromexporte angesetzt werden.¹⁴⁵ Dadurch gehen die inländischen Emissionen des Stromsektors deutlich zurück. Im Jahr 2020 beträgt die zusätzliche Emissionsminderung 36 Mt CO₂.

Tabelle 3-193: Wirkung geringerer Stromexporte im MWMS

	2020
Differenz Exporte (TWh)	-37,6
Differenz Emissionen (Mt CO ₂)	-35,7

Quelle: Berechnungen Öko-Institut

3.5.2.3 Ergebnis im MWMS

Tabelle 3-194: Entwicklung der Treibhausgasemissionen für die Sensitivitätsrechnungen (MWMS)

	1990	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO ₂ e						
Emissionen im Energiesektor (inkl. int. Flugverkehr)						
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 ₂ - und Brennstoffpreise			700,9	666,5	595,9	513,3
Weniger Stromexport			665,1			
Differenz gegenüber MWMS						
Stärkeres Wirtschaftswachstum			12,5	11,9	16,8	22,3
Höhere Bevölkerung			10,4	7,5	5,3	3,3
Niedrigere CO ₂ - und Brennstoffpreise			0,4	-0,1	-2,3	0,7
Weniger Stromexport			-35,3			
Gesamtemissionen (ohne int. Verkehr & LULUCF)						
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 ₂ - und Brennstoffpreise			806,0	760,1	679,8	593,0
Weniger Stromexport			769,9			
Minderung Gesamtemissionen ggü. 1990						
MWMS		-28 %	-35,5 %	-39,2 %	-45,4 %	-52,6 %
Stärkeres Wirtschaftswachstum			-34,5 %	-38,2 %	-44,1 %	-50,8 %

¹⁴⁵ 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 CO₂ erhöht wurde.

	1990	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e					
Höhere Bevölkerung			-34,7 %	-38,6 %	-45,0 %	-52,3 %
Niedrigere CO ₂ - und Brennstoffpreise			-35,5 %	-39,2 %	-45,6 %	-52,6 %
Weniger Stromexport			-38,4 %			

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Berechnungen des Öko-Instituts

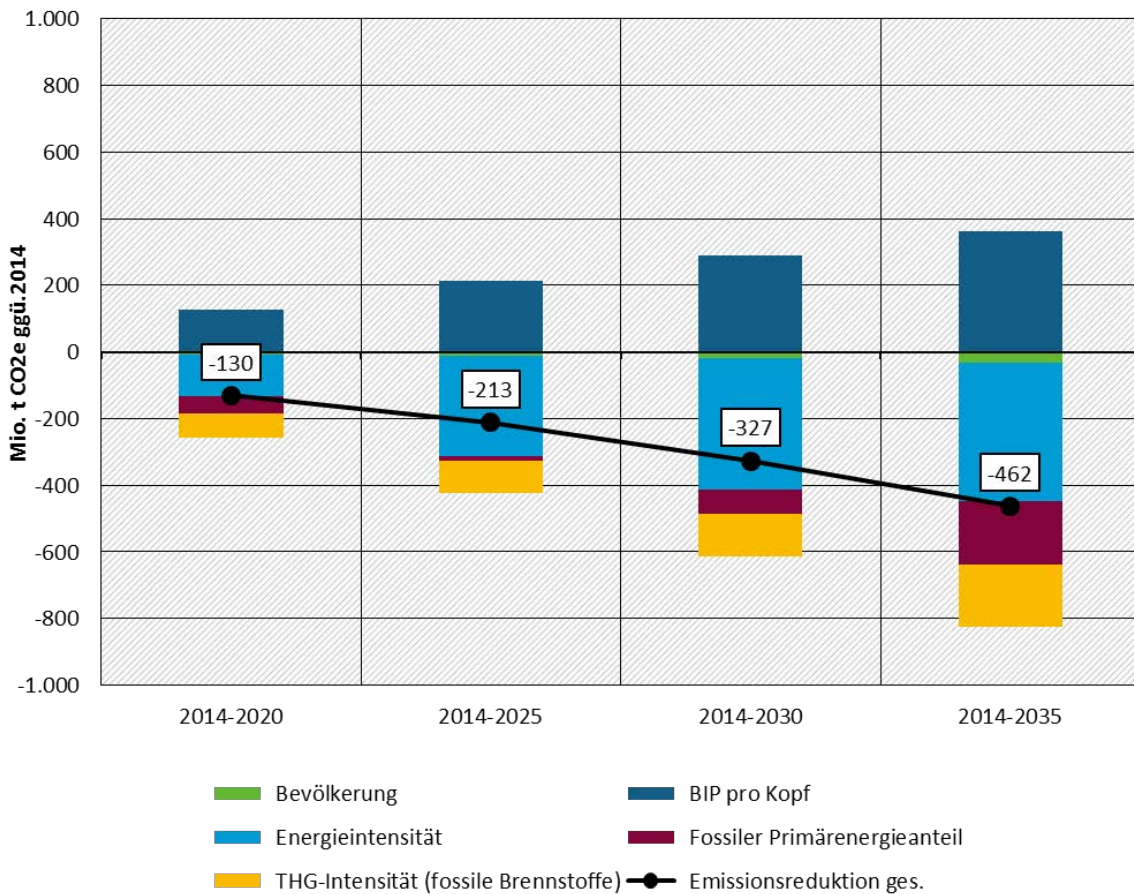
3.5.3 Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario

3.5.3.1 Wirtschaftswachstum und demographische Entwicklung

Abbildung 3-39 zeigt das Ergebnis der Komponentenanalyse für das MEMS, in dem die energiebedingten Emissionen von 2014 bis 2035 um 462 Mt CO₂e sinken (ggü. 200 Mt CO₂e im MMS und 274 Mt CO₂e im MWMS). Die zusätzliche Minderung zum MWMS von 188 Mt CO₂e netto wird durch drei Treibergrößen bestimmt:

- a) 187 Mt CO₂e durch einen geringeren Anteil fossiler Brennstoffe (in der Grafik grün);
- b) 42 Mt CO₂e durch eine geringere CO₂-Intensität dieser Brennstoffe (braun);
- c) eine etwas geringere Minderung der Energieintensität der Wirtschaft als in den anderen Szenarien, die 41 Mt CO₂e zusätzliche Emissionen (ggü. MWMS) verursacht.

Abbildung 3-39: Komponentenanalyse für die Entwicklung der energiebedingten Treibhausgasemissionen (MEMS)



Quelle: Berechnungen Öko-Institut

Auf Grundlage dieser Zerlegung wurden wie in den Analysen der anderen Szenarien Bevölkerung und BIP variiert und die restlichen Parameter jeweils konstant gehalten.

Weil der Energieverbrauch im MEMS viel entschiedener auf erneuerbare Energien und Gas umgestellt wird, ist das Szenario weniger sensitiv gegenüber Änderungen im Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum. Ein stärkeres Wirtschaftswachstum von konstant 1,0 % würde bis 2035 zu einer Steigerung der energiebedingten Emissionen um nur 14 Mt CO₂e führen (66,8 % bzw. 1,2 Prozentpunkte geringere Minderung bezogen auf 1990). Eine größere Bevölkerung würde zusätzliche Emissionen von 2 Mt CO₂e verursachen (0,2 Prozentpunkte geringere Minderung). Die Ergebnisse sind unten in Tabelle 3-198 vollständig dargestellt.

3.5.3.2 EUA- und Brennstoffpreise im Stromsektor

Annahmen und Parametrisierung für diese Sensitivitätsanalyse sind identisch mit der Sensitivitätsanalyse des MMS und des MWMS. Auch im MEMS sind nur geringe Verschiebungen in der Merit Order zu erwarten, da die niedrigeren CO₂-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 MEMS ist die Veränderung der Stromerzeugung und der Emissionen in der Größenordnung mit dem MMS vergleichbar (Tabelle 3-191). Auch im MEMS steht einem leichten Rückgang der Erdgasverstromung eine leichte Steigerung der Kohleverstromung gegenüber, beide sind im Vergleich zur Gesamtmenge klein. Die Veränderung der Gesamtemissionen in der Stromerzeugung sind nur gering (Tabelle 3-195; unter 1 Mt CO₂ bis 2025, danach etwas höher). Die besondere Ausprägung des Jahres 2030 ist darauf zurückzuführen, dass in der Sensitivität in allen Szenarienjahren außer 2030 der Stromexport im Saldo leicht zurückgeht, im Jahr 2030 hingegen leicht ansteigt.

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 3-195: Veränderung der Stromerzeugung bei geringeren Brennstoff- und CO₂-Preisen im MEMS (Differenz)

	2020	2025	2030	2035
	TWh			
Braunkohle	0,2	0,1	0,1	0,0
Steinkohle	0,2	0,4	2,9	0,6
Erdgas	-3,2	-1,9	-2,1	-2,6

Quelle: Berechnungen Öko-Institut

Tabelle 3-196: Veränderung der CO₂-Emissionen des Stromsektors bei geringeren Brennstoff- und CO₂-Preisen, MEMS¹⁴⁶

	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂			

¹⁴⁶ Die hier dargestellten CO₂-Emissionen des Stromsektors wurden nicht den Bereinigungen unterzogen, die in Tabelle 3-89 vorgenommen werden, und weichen deshalb leicht ab. Dort werden insbesondere die Emissionen aus der Rauchgasentschwefelung berücksichtigt sowie Emissionsfaktoren der Kraftwerke nach Sektoren feiner differenziert.

Differenz	-0,7	-0,3	1,6	-1,1
-----------	------	------	-----	------

Quelle: Berechnungen Öko-Institut

Außerdem wurde wie im Projektionsbericht 2015 eine Sensitivitätsanalyse berechnet, bei der für das Jahr 2020 geringere Stromexporte angesetzt werden.¹⁴⁷ Dadurch gehen die inländischen Emissionen des Stromsektors deutlich zurück. Im Jahr 2020 beträgt die zusätzliche Emissionsminderung 36 Mt CO₂.

Tabelle 3-197: Wirkung geringerer Stromexporte im MEMS

	2020
Differenz Exporte (TWh)	-37,6
Differenz Emissionen (Mt CO ₂)	-35,7

Quelle: Berechnungen Öko-Institut

Tabelle 3-198: Entwicklung der Treibhausgasemissionen für die Sensitivitätsrechnungen (MEMS)

	1990	2014	2020	2025	2030	2035
Mt CO ₂ e						
Emissionen im Energiesektor (inkl. int. Flugverkehr)						
MEMS	1.047,8	786,9	656,6	574,3	460,0	324,6
Stärkeres Wirtschaftswachstum			668,3	584,6	472,9	338,7
Höhere Bevölkerung			666,3	580,8	464,0	326,7
Niedrigere CO ₂ - und Brennstoffpreise			657,3	574,7	458,3	325,7
Differenz gegenüber MEMS						
Stärkeres Wirtschaftswachstum			11,8	10,3	12,9	14,1
Höhere Bevölkerung			9,8	6,4	4,0	2,1
Niedrigere CO ₂ - und Brennstoffpreise			0,7	0,3	-1,6	1,1
Gesamtemissionen (ohne int. Verkehr & LULUCF)						
MEMS	1.249,8	901,8	760,5	662,3	537,7	400,4
Stärkeres Wirtschaftswachstum			772,3	672,6	550,6	414,5
Höhere Bevölkerung			770,3	668,7	541,8	402,4
Niedrigere CO ₂ - und Brennstoffpreise			761,2	662,6	536,1	401,4
Minderung Gesamtemissionen ggü. 1990						
MEMS		-27,8%	-39,1%	-47,0%	-57,0%	-68,0%
Stärkeres Wirtschaftswachstum			-38,2%	-46,2%	-55,9%	-66,8%
Höhere Bevölkerung			-38,4%	-46,5%	-56,7%	-67,8%

¹⁴⁷ 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 CO₂ erhöht wurde.

	1990	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e					
Niedrigere CO ₂ - und Brennstoffpreise			-39,1%	-47,0%	-57,1%	-67,9%

Quelle: (UBA 2016a, 2016b), Berechnungen des Öko-Instituts

4 Erreichung der Energie- und Klimaschutzziele der Bundesregierung

4.1 Energie- und Klimaschutzkonzept von 2010/2011

4.1.1 Definition der Ziele

Die Bundesregierung hat sich mit dem Energie- und Klimaschutzkonzept 2010/2011 (Bundesregierung 2010) ein System von Energie- und Klimaschutzzielen gegeben. Mit dem Energiekonzept und der Ergänzung dieses Konzepts um den beschleunigten Ausstieg aus der Kernenergie wurde für Deutschland ein System von energie- und klimapolitischen Zielen etabliert. Es ist umfassend angelegt und adressiert sowohl die kurz- als auch die langfristige Perspektive.

Im Jahr 2014 wurden die Energieziele durch die Aufnahme von Zielkorridoren für die Jahre 2025 und 2035 im Erneuerbare-Energien-Gesetz weiterentwickelt. Mit dem Koalitionsvertrag von CDU, CSU und SPD aus dem März 2018 wurde das Ziel der „Steigerung des Anteils Erneuerbarer Energien auf 65 Prozent bis 2030“ formuliert (CDU, CSU, SPD 2018).¹⁴⁸

Tabelle 4-1: Zieldatensatz des Energiekonzepts 2010/2011 bzw. des Erneuerbare-Energien-Gesetzes

Jahr	Reduktion Treibhausgasemissionen	Erneuerbare Anteile		Senkung Energieverbrauch				Steigerung Energieproduktivität
		Bruttoendenergie	Bruttostromverbrauch	Primärenergie	Gebäudewärme ^a	Endenergie Verkehr	Bruttostromverbrauch	
2020	-40%	18%	35%	-20%	-20%	-10%	-10%	2,1% p.a.
2025			40% bis 45%					
2030	-55%	30%	65% ^b					
2035			55% bis 60%					
2040	-70%	45%	65%					
2045								
2050	-80% bis -95 %	60%	80%	-50%	-80%	-40%	-25%	
Basis	1990			2008	2008	2005	2008	

Anmerkungen: Sofern keine Korridore (Minderung der THG-Emissionen im Jahr 2050, erneuerbare Anteile am Bruttostromverbrauch in den Jahren 2025 und 2035) angegeben sind, handelt es sich um Mindestziele.

^a Senkung Endenergieverbrauch im Jahr 2020, Senkung Primärenergiebedarf im Jahr 2050.

^b Ursprünglicher Zielwert aus dem Energie- und Klimaschutzkonzept 2010/2011: 50 %, angehoben auf 65 % durch den Koalitionsvertrag 2018.

Quelle: (Bundesregierung 2010), (CDU, CSU, SPD 2018), §1 EEG 2014

4.1.2 Übersicht der Zielerreichung

In Bezug auf die Erreichung der Ziele des Energie- und Klimaschutzkonzepts der Bundesregierung (2011) gibt es deutliche Unterschiede zwischen den Szenarien, wie Tabelle 4-2 zeigt.

¹⁴⁸ Die bisherigen Ziele aus dem Energie- und Klimaschutzkonzept 2010/2011 für den erneuerbaren Anteil sind bezogen auf den Bruttostromverbrauch definiert. Die Formulierung aus dem aktuellen Koalitionsvertrag ist unpräzise, da keine Bezugsgröße für den erneuerbaren Anteil hinzugefügt wurde. Für den hier vorliegenden Bericht wird davon ausgegangen, dass auch hier die Bezugsgröße der Bruttostromverbrauch ist.

Tabelle 4-2: Erreichung der Ziele des Energie- und Klimaschutzkonzepts 2010/2011, des Erneuerbare-Energien-Gesetzes und des aktuellen Koalitionsvertrags in den drei Szenarien

Zieldefinitionen										
	Treibhausgasemissionen		Erneuerbare Energien		Senkung Energieverbrauch					Steigerung Energieproduktivität
	ohne LULUCF & Bunker	mit LULUCF & Bunker	Brutto-endenergie	Brutto-stromverbrauch	Primär-energie	Gebäude-wärme	Endenergie Verkehr	Bruttostromverbrauch		
2020	-40%	-40%	18%	35%	-20%	-20%	-10%	-10%	-10%	2,1% p.a.
2025				40-45%						
2030	-55%	-55%	30%	65%						
2035				55-60%						
Basis	1990	1990	Ohne Referenzjahr		2008	2008	2005	2008	2008	

Ergebnisse Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS)										
	Treibhausgasemissionen		Erneuerbare Energien		Senkung Energieverbrauch					Steigerung Energieproduktivität
	ohne LULUCF & Bunker	mit LULUCF & Bunker	Brutto-endenergie	Brutto-stromverbrauch ^a	Primär-energie	Gebäude-wärme ^b	Endenergie Verkehr ^c	Stromverbrauch (klassisch) ^d	Stromverbrauch (gesamt)	
2020	-35%	-29%	18%	41%	-12%	-16%	3%	-6%	-4%	2,1% p.a.
2025				47%						2,5% p.a.
2030	-41%	-36%	22%	52%						1,9% p.a.
2035				54%						1,8% p.a.
Basis	1990	1990	Ohne Referenzjahr		2008	2008	2005	2008	2008	2008

Ergebnisse Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS)										
	Treibhausgasemissionen		Erneuerbare Energien		Senkung Energieverbrauch					Steigerung Energieproduktivität
	ohne LULUCF & Bunker	mit LULUCF & Bunker	Brutto-endenergie	Brutto-stromverbrauch ^a	Primär-energie	Gebäude-wärme ^b	Endenergie Verkehr ^c	Stromverbrauch (klassisch) ^d	Stromverbrauch (gesamt)	
2020	-36%	-30%	18%	41%	-13%	-16%	3%	-6%	-5%	2,2% p.a.
2025				49%						3,0% p.a.
2030	-45%	-40%	22%	56%						2,4% p.a.
2035				61%						2,6% p.a.
Basis	1990	1990	Ohne Referenzjahr		2008	2008	2005	2008	2008	2008

Ergebnisse Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario (MEMS)										
	Treibhausgasemissionen		Erneuerbare Energien		Senkung Energieverbrauch					Steigerung Energieproduktivität
	ohne LULUCF & Bunker	mit LULUCF & Bunker	Brutto-endenergie	Brutto-stromverbrauch ^a	Primär-energie	Gebäude-wärme ^b	Endenergie Verkehr ^c	Stromverbrauch (klassisch) ^d	Stromverbrauch (gesamt)	
2020	-39%	-35%	20%	45%	-15%	-16%	3%	-8%	-7%	2,6% p.a.
2025				57%						4,1% p.a.
2030	-57%	-55%	31%	69%						3,7% p.a.
2035				75%						4,0% p.a.
Basis	1990	1990	Ohne Referenzjahr		2008	2008	2005	2008	2008	2008

^a Ohne regenerativen Anteil der Stromimporte
^b Minderung Endenergiebedarf im Jahr 2020, Minderung nichterneuerbarer Primärenergiebedarf im Jahr 2050
^c Ohne internationalen Seeverkehr, ohne bauwirtschaftlichen Sonderverkehr und ohne Pipelinetransport
^d Enthält nicht Stromverbrauch von Wärmepumpen, Elektro-Straßenfahrzeuge, CCS, Power-to-Gas/-Liquid für Endverbraucher, Power-to-Heat für Fernwärmenetze

Anmerkungen: Grün: Ziel ist erfüllt. Ocker: Ziel ist nicht erfüllt. Weiß/grau: Kein Ziel für das jeweilige Jahr definiert.
 Quelle: (Bundesregierung 2010), (CDU, CSU, SPD 2018), EEG 2014, Berechnungen Öko-Institut und Fraunhofer ISI

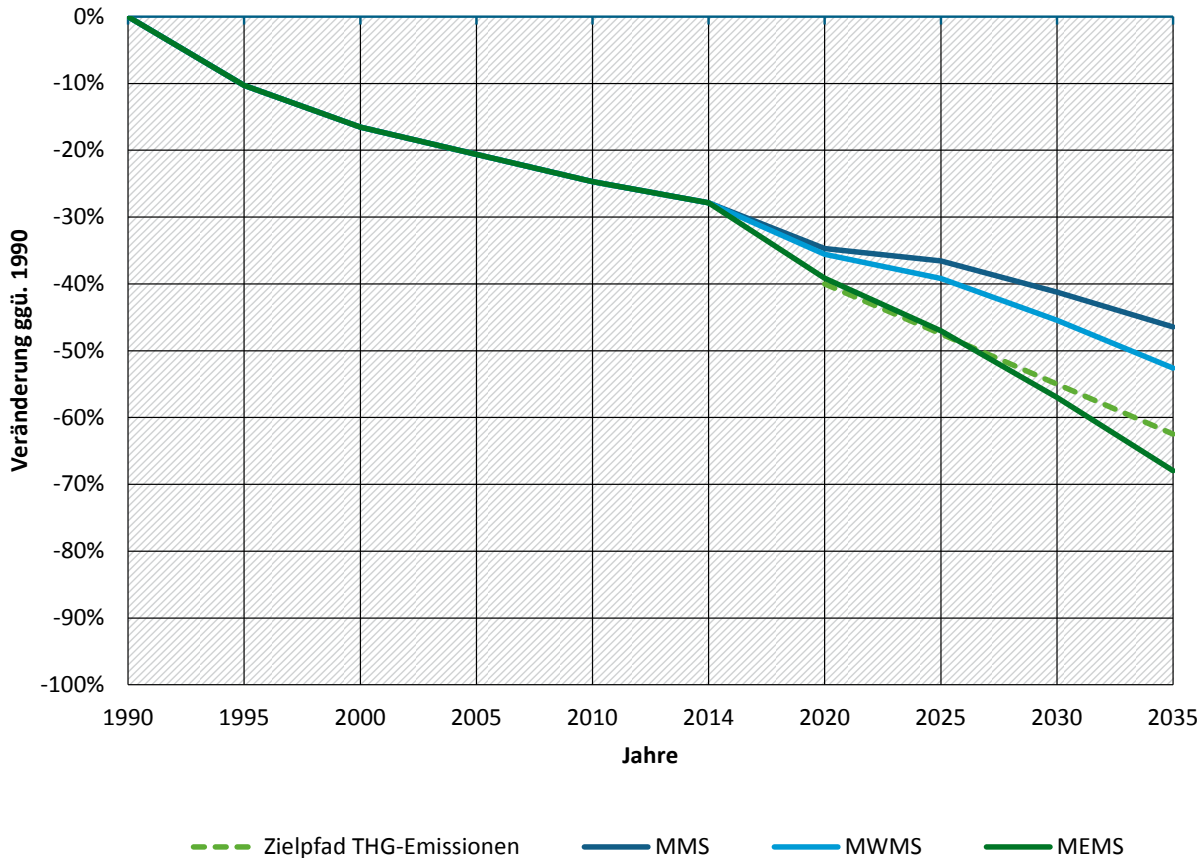
Für manche Ziele im Energie- und Klimaschutzkonzept sind mehrere unterschiedliche Abgrenzungen (beispielsweise beim Treibhausgasemissionsminderungsziel) oder Interpretationen (beispielsweise beim Stromverbrauchsziel) möglich. Für manche Ziele sind daher in Tabelle 4-2 Angaben in unterschiedlichen Abgrenzungen dargestellt. Zudem sind in Fußnoten weitere Erläuterungen zu den Interpretationen der Ziele enthalten.

Eine detailliertere Interpretation der Szenarienergebnisse in Bezug auf die Ziele des Energiekonzepts 2010/2011 und des Erneuerbare-Energien-Gesetzes folgt in den nächsten Abschnitten.

4.1.3 Reduktion der Treibhausgasemissionen

Die folgende Abbildung 4-1 stellt die historisch bis zum Jahr 2014 erfolgten Reduktionen der Treibhausgasemissionen sowie die in den drei Szenarien (MMS, MWMS und MEMS) ermittelten zukünftigen Treibhausgasemissionsreduktionen jeweils gegenüber dem Referenzjahr 1990 dar.

Abbildung 4-1: Veränderung der Treibhausgasemissionen zwischen 1990 und 2035 (ohne LULUCF und internationale Bunker)



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

Weder im MMS noch im MWMS werden die Ziele zur Reduktion der Treibhausgasemissionen erreicht. Im Jahr 2020 liegen die Emissionen im MMS nur um 34,7 % und im MWMS um 35,5 % niedriger als 1990. Zu den anvisierten 40 % Emissionsminderung ist dies eine Lücke von 5,3 bzw. 4,5 Prozentpunkten. Im MEMS hingegen wird das 40 %-Ziel mit einer Minderung um 39,1 % nur knapp verfehlt, die Lücke beträgt lediglich 0,9 Prozentpunkte.

Auch das Ziel von 55 % Emissionsminderung bis zum Jahr 2030 wird sowohl im MMS als auch im MWMS deutlich verfehlt, allerdings sind die verbleibenden Lücken deutlich unterschiedlicher: Im MMS wird eine Emissionsminderung von 41,4 % erreicht, dies entspricht einer Minderungslücke von 13,6 Prozentpunkten. Im MWMS hingegen wird eine Emissionsminderung von 45,6 %, die Minderungslücke ist im MWMS also mit 9,4 Prozentpunkten um etwa ein Drittel kleiner als im MMS. Im MEMS hingegen wird im Jahr 2030 eine Minderung um 57,0 % gegenüber 1990 erreicht, das Ziel wird somit sogar um 2,0 Prozentpunkte übererfüllt.

Das bedeutet, dass die bisher implementierten Maßnahmen und Instrumente (MMS) oder derzeit geplanten Maßnahmen und Instrumente (MWMS) nicht ausreichend sind, um die nationalen Klima-

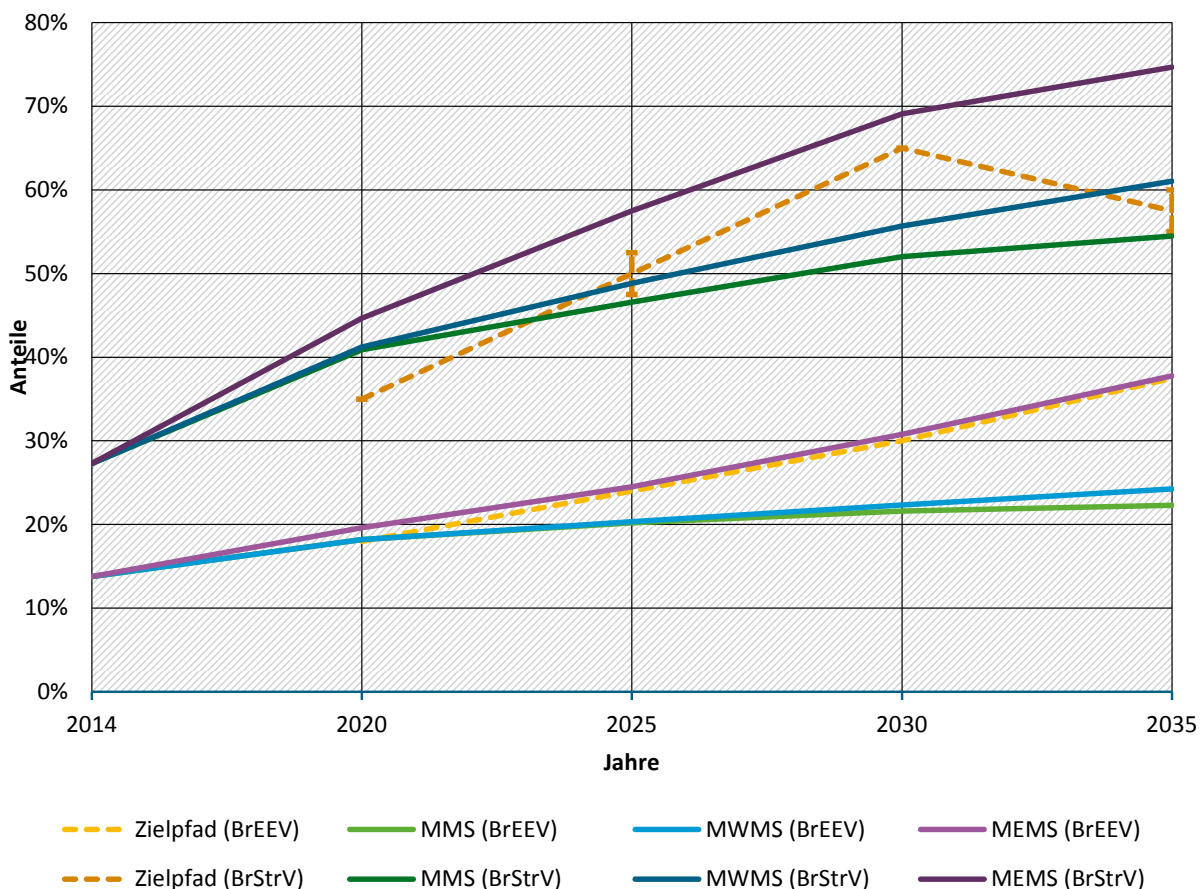
schutzziele zu erreichen. Erst weitergehende Maßnahmen und Instrumente, wie der im MEMS antizipierte Mix aus Ausstieg aus fossilen Technologien, schnellerem Ausbau erneuerbarer Energien und ambitionierter Energieeinsparungen und Effizienzsteigerungen, ermöglicht eine Erreichung der nationalen Emissionsreduktionsziele.

Werden auch die Treibhausgasemissionen aus internationalem Luft- und Seeverkehr sowie aus Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft – und somit sämtliche in der Logik der nationalen Treibhausgasinventare Deutschland zuordenbare Treibhausgasemissionen – mit berücksichtigt, sind im MMS und im MWMS die relativen Emissionsminderungen bezogen auf das Jahr 1990 niedriger als die Zielwerte des Energie- und Klimaschutzkonzepts von 2010/2011. So werden 2020 statt 40 % im MMS nur 28,9 % und im MWMS 29,7 % Emissionsminderung erreicht. Statt einem Rückgang um 55 % bis 2030 werden im MMS 35,9 % und im MWMS 40,2 % erreicht. Im MEMS hingegen wird in dieser weiten Abgrenzung das Ziel für 2020 mit einer Emissionsreduktion von 34,9 % klar verfehlt, das Ziel für 2030 kann aber mit einer Reduktion von 55,0 % gerade erfüllt werden.

4.1.4 Steigerung der Anteile erneuerbarer Energien

Abbildung 4-2 stellt die Entwicklung der erneuerbaren Anteile am Bruttostromverbrauch und an der Bruttoendenergie in den drei Szenarien (MMS, MWMS und MEMS) zwischen dem Basisjahr der Modellierung (2014) und dem letzten Szenarienjahren (2035) dar. In den folgenden beiden Unterkapiteln werden diese Entwicklungen detaillierter beschrieben.

Abbildung 4-2: Entwicklung der erneuerbaren Anteile am Bruttostromverbrauch (BrStrV) und Bruttoendenergieverbrauch (BrEEV) (2014–2035)



Quelle: Berechnungen Öko-Institut und Fraunhofer ISI

4.1.4.1 Erneuerbarer Anteil am Bruttoendenergieverbrauch

In den erneuerbaren Anteil am Bruttoendenergieverbrauch fließen sowohl die erneuerbare Stromerzeugung als auch erneuerbare Energien im Verkehr und die Nutzung erneuerbarer Wärme ein.

Im Jahr 2014, dem Basisjahr der Modellierung, lag der erneuerbare Anteil am Bruttoendenergieverbrauch bereits bei knapp 14 %. Durch den weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien wird sowohl im MMS als auch im MWMS das Ziel von 18 % im Jahr 2020 gerade erreicht. Der weitere Zubau erfolgt dann zu langsam, sodass das Ziel für das Jahr 2030 deutlich verfehlt wird: Statt eines erneuerbaren Anteils von 30 % werden im MMS nur 22 % erreicht, eine Zielverfehlung um acht Prozentpunkte. Auch im MWMS wird das Ziel deutlich verfehlt, der erneuerbare Anteil liegt nur unwesentlich höher als im MMS. Erst 2035 liegt der erneuerbare Anteil am Bruttostromverbrauch im MWMS mit 24 % merklich höher als im MMS, in dem der erneuerbare Anteil nach 2030 kaum noch ansteigt.

Im MEMS hingegen wird 2020 mit einem erneuerbaren Anteil am Bruttoendenergieverbrauch von 19 % der Zielwert um einen Prozentpunkt und der Zielwert für 2030 mit einem Anteil von 32 % sogar um zwei Prozentpunkte übertroffen.

Die Ziele des erneuerbaren Anteils am Bruttoendenergieverbrauch werden im Szenariojahr 2030 des MMS und MWMS verfehlt, obwohl die Ziele für den erneuerbaren Anteil am Bruttostromverbrauch (siehe nächster Abschnitt) zum Teil sehr deutlich übererfüllt werden. Dies bedeutet, dass die Zielverfehlung im MMS und MWMS durch einen zu geringen Einsatz erneuerbarer Energien im Verkehr und im Bereich der Wärmeversorgung verursacht wird.

4.1.4.2 Erneuerbarer Anteil am Bruttostromverbrauch

Von 1990 bis 2014, dem Basisjahr der Modellierung, ist der erneuerbare Anteil am Bruttostromverbrauch bereits von unter 4 % auf über 27 % angestiegen. Schon im MMS werden die Ziele für die Jahre 2020 und 2025 2030 übererfüllt. Besonders deutlich fällt die Übererfüllung im Jahr 2020 mit fast sechs Prozentpunkten aus. Für das Jahr 2030 wird zwar das alte Ziel von 50 % aus dem Energie- und Klimaschutzkonzept von 2010/2011 erreicht, das Ziel von 65 % aus dem aktuellen Koalitionsvertrag wird hingegen sehr deutlich verfehlt. Dadurch, dass ab der zweiten Hälfte der 2020er-Jahre vermehrt alte Erneuerbare-Energien-Anlagen abgebaut werden, verlangsamt sich der Zuwachs des erneuerbaren Anteils am Bruttostromverbrauch dann allerdings deutlich, sodass der Zielkorridor 2035 knapp verfehlt wird.

Im MWMS ist die Übererfüllung in den Szenariojahren 2020 und 2025 noch größer als im MMS. Wie auch im MMS wird im MWMS das Ziel von 50 % übererfüllt, das neue Ziel von 65 % aus dem Koalitionsvertrag hingegen deutlich verfehlt. Anders als im MMS wird dann auch 2035 der Zielkorridor übererfüllt, allerdings ist die Übererfüllung mit nur noch einem Prozentpunkt deutlich geringer als in den vorhergehenden Szenarijahren.

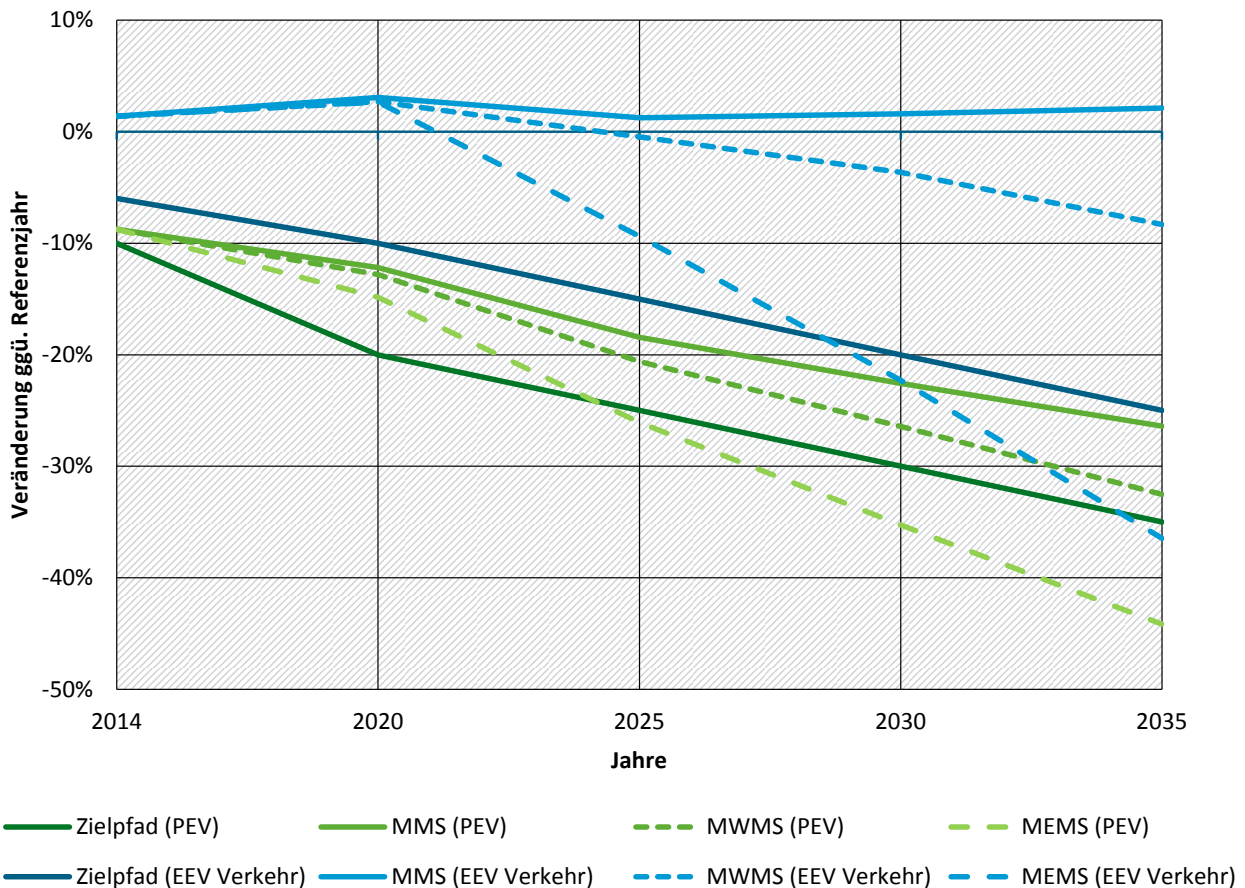
Deutlich übererfüllt werden die Ziele des erneuerbaren Anteils am Bruttostromverbrauch im MEMS in allen Szenarijahren. Bereits für das Jahr 2020 liegt der erneuerbare Anteil mit fast 45 % knapp zehn Prozentpunkte höher als der Zielwert. In den Jahren 2025 und 2030 steigt der Anteil auf über 57 % bzw. 69 %. Für das Jahr 2025 bedeutet dies einen erneuerbaren Anteil von gut zwölf Prozentpunkten oberhalb des Zielkorridors und für das Jahr 2030 eine Zielübererfüllung des Koalitionsvertragsziels um 4 Prozentpunkte (bzw. 19 Prozentpunkte oberhalb des Ziels aus dem Energiekonzept). Im Jahr 2035 werden schließlich knapp 75 % erreicht, was etwa 15 Prozentpunkte höher als die obere Grenze des Zielkorridors des EEGs ist. Dies ist ein Erfolg der im MEMS explizit formulierten Maßnahme, die erneuerbaren Energien im Stromsektor unabhängig von den im EEG festgelegten Zielkorridoren auszubauen. Dieser hohe erneuerbare Anteil ist erforderlich, um bei zunehmender Elektrifizierung des Verkehrs und der Wärmeversorgung die Gesamtemissionen zu reduzieren. Wie Abbildung 4-2 deutlich zeigt, ist der Zielkorridor in der derzeitigen Ausgestaltung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG)

für das Jahr 2035 (55 bis 65 %) weniger ambitioniert als das Ziel für das Jahr 2030. Dies erklärt die sehr große Zielübererfüllung im Jahr 2035. Das neue Ziel für 2030 von 65 % aus dem Koalitionsvertrag 2018 entspricht dem bisherigen Ziel für 2040 aus dem Energie- und Klimaschutzkonzept von 2010/2011.

4.1.5 Energieeinsparung und Energieeffizienz

Die folgende Abbildung 4-4 stellt die in den drei Szenarien (MMS, MWMS und MEMS) ermittelten Veränderungen des Primärenergieverbrauchs, des Endenergieverbrauch im Verkehr und des Bruttostromverbrauch gegenüber dem jeweiligen Referenzjahr (2008 für Primärenergieverbrauch und Bruttostromverbrauch bzw. 2005 für den Endenergieverbrauch im Verkehr) dar. In den folgenden Unterkapiteln werden diese Entwicklungen sowie die Reduktion des Energiebedarfs für Gebäudewärme detaillierter beschrieben.

Abbildung 4-3: Veränderung des Primärenergieverbrauchs (PEV), des Endenergieverbrauchs (EEV) im Verkehr zwischen 2014 und 2035 gegenüber dem jeweiligen Referenzjahr



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

Anmerkung: Die Referenzjahre für den Primärenergieverbrauch (PEV) und den Bruttostromverbrauch (BrStrV) sind 2008, für den Endenergieverbrauch im Verkehr (EEV Verkehr) hingegen 2005.

4.1.5.1 Reduktion des Primärenergieverbrauchs

Der Primärenergieverbrauch des Jahres 2014 lag um etwa 9 % niedriger als im Referenzjahr 2008, wobei anzumerken ist, dass 2014 ein sehr überdurchschnittlich warmes Jahr mit entsprechend vermindertem Energieverbrauch war. Im MMS sinkt der Primärenergieverbrauch bis 2020 um etwa 12 %

gegenüber 2008. Das Ziel, den Primärenergieverbrauch um 20 % bis 2020 zu senken, wird also um knapp 7 Prozentpunkte verfehlt. In den folgenden Szenarienjahren sinkt der Primärenergieverbrauch weiter auf etwa 18 % im Jahr 2025, etwa 23 % im Jahr 2030 und etwa 26 % im Jahr 2035, jeweils gegenüber dem Referenzjahr 2008. Allerdings ist dies noch immer deutlich vom Pfad des Energiekonzepts entfernt: Aus den Minderungszielen von 20 % bis 2020 und 50 % bis 2050 lassen sich Zwischenwerte von -25 % (Jahr 2025), -30 % (Jahr 2030) und -35 % (Jahr 2035) interpolieren. Die Lücke wächst also und beträgt 2035 fast elf Prozentpunkte.

Im MWMS ist die Senkung des Primärenergieverbrauchs bis 2020 mit 13 % gegenüber 2008 zunächst nur geringfügig höher als im MMS. In den folgenden Szenarienjahren nimmt die Einsparung zu: im Jahr 2025 liegt der Primärenergieverbrauch bereits 21 % unterhalb von 2008 und mit 26 % im Jahr 2030 wird bereits eine Senkung erreicht, die im MMS erst im Jahr 2035 erreicht wird. Mit einem Primärenergieverbrauch im Jahr 2035 von 33 % unterhalb von 2008 endet das MWMS fast auf dem interpolierten Zielpfad (-35 %).

Auch im MEMS wird das Ziel, den Primärenergieverbrauch bis 2020 um 20 % gegenüber dem Jahr 2008 zu senken, deutlich verfehlt, es wird nur eine Reduktion um etwa 15 % erreicht. Aber bereits 2025 ist die Senkung des Primärenergieverbrauchs mit einer Reduktion um etwa 26 % etwas höher als der interpolierte Zielwert. In den Jahren 2030 und 2035 liegt die Senkung des Primärenergieverbrauchs mit gut 35 % bzw. 44 % deutlich oberhalb der interpolierten Zielwerte (-30 % bzw. -35 %).

Wesentliche Treiber für den Reduktion des Primärenergieverbrauchs sind einerseits Energieeinsparungen und Effizienzsteigerungen in den Endenergiesektoren, andererseits aber auch die Umstellung von fossiler und nuklearer Stromerzeugung auf erneuerbare Stromerzeugung vor allem auf Basis von Windenergie und Photovoltaik, die im Vergleich wesentlich höhere primärenergetische Wirkungsgrade haben.

4.1.5.2 Reduktion des Energiebedarfs für Gebäudewärme

Für den Gebäudesektor gibt es im Energie- und Klimaschutzkonzept 2010/2011 einerseits das Ziel, den Endenergieverbrauch der Gebäude um 20 % gegenüber 2008 zu reduzieren, andererseits das Ziel, den nichterneuerbaren Primärenergiebedarf im Jahr 2050 um 80 % gegenüber 2008 zu reduzieren.

Im MMS und im MWMS wird das Ziel deutlich verfehlt: statt um 20 % wird bis 2020 der Endenergieverbrauch der Gebäude nur um 16,2 % reduziert. Aufgrund der kurzen Wirkdauer der zusätzlichen Maßnahmen im MEMS wird auch dort das Ziel deutlich verfehlt. Die erzielte Reduktion von 16,5 % ist daher im MEMS nur geringfügig höher als im MMS und MWMS.

Da die Energieverbrauchsreduktionsziele bei der Gebäudewärme für 2020 und 2050 deutlich unterschiedlich definiert sind, kann zwischen diesen beiden Jahren kein Zielpfad interpoliert werden. Daher wurde auch darauf verzichtet, entsprechende Werte für die Szenarienjahre 2020, 2030 und 2035 auszuweisen.

4.1.5.3 Reduktion des Endenergieverbrauchs des Verkehrs

Der Energieverbrauch des Verkehrs umfasst Straßenverkehr, Schienenverkehr, Binnen- und Küstenschifffahrt sowie inländischen und internationalen Flugverkehr.¹⁴⁹

Der Endenergieverbrauch des Verkehrs lag 2014 (dem Basisjahr der Modellierung) um etwa 1 % höher als im Referenzjahr 2005 und liegt im MMS auch in allen Szenarienjahren über dem Wert im Referenzjahr. Das Ziel, den Energieverbrauch bis zum Jahr 2020 um 10 % zu reduzieren, wird somit sehr deutlich verfehlt.

¹⁴⁹ Bunkerungen der Hochseeschifffahrt werden nicht berücksichtigt.

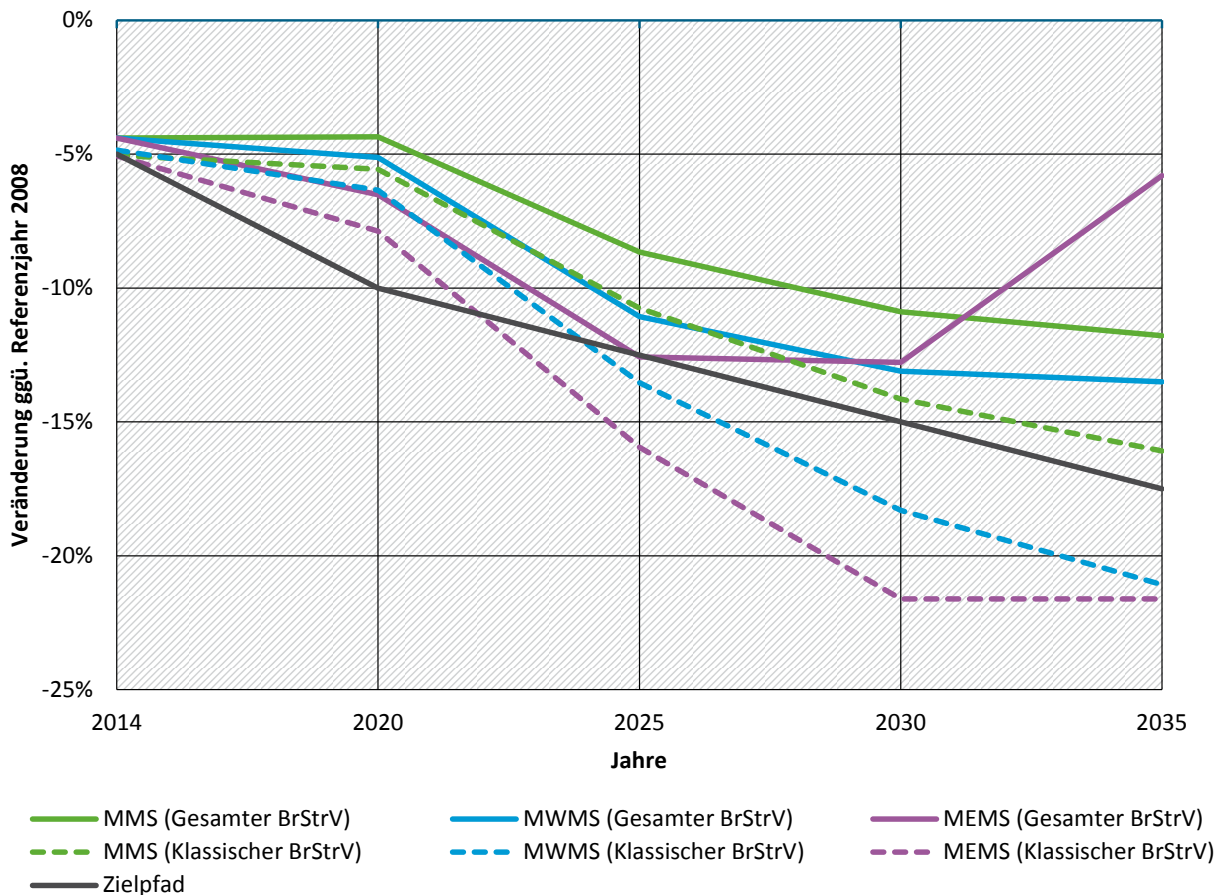
Im MWMS steigt der Endenergieverbrauch des Verkehrs noch bis etwa zum Jahr 2020. Mit einem um etwa 3 % höheren Verbrauch gegenüber 2005 wird auch in diesem Szenario das Ziel des Energiekonzepts sehr deutlich verfehlt. Im Jahr 2025 wird etwa das Energieverbrauchsniveau des Jahres 2005 wieder erreicht und in den Folgejahren sinkt der Verbrauch weiter, bis 2030 auf etwa 4 % unterhalb von 2005 und bis 2035 auf etwa 8 % unterhalb von 2005. Allerdings ist dies noch immer deutlich vom Pfad des Energiekonzepts entfernt: Aus den Minderungszielen von 10 % bis 2020 und 40 % bis 2050 lassen sich Zwischenwerte von -15 % im Jahr 2025, -20 % im Jahr 2030 und -25 % im Jahr 2035 interpolieren. Die Lücke beträgt 2035 immerhin etwa 17 Prozentpunkte.

Bis zum Jahr 2020 ist die Entwicklung im MEMS bezüglich der Senkung des Endenergieverbrauchs im Verkehr quasi identisch zum MWMS. Aber bereits im Jahr 2025 zeigt sich mit einer Senkung des Energieverbrauchs auf 9 % unterhalb des Referenzwerts von 2005 eine sehr deutliche Wirkung der erweiterten Maßnahmen. Im Jahr 2030 wird mit einer Endenergieverbrauchsenkung um etwa 23 % gegenüber 2005 das (interpolierte Zwischenziel) von -20 % bereits deutlich übererfüllt und mit einer Energieverbrauchsminderung um 36 % im Jahr 2035 wird bereits das eigentlich erst für 2050 angedachte Ziel fast erfüllt. Ein Grund für die deutliche Zielübererfüllung in den späteren Szenarienjahren des MEMS liegt in der deutlich höheren Effizienz elektrischer Antriebe gegenüber Verbrennungsmotoren. Der Wechsel von konventionellen zu elektrischen Fahrzeugen wird durch eine Vielzahl der unterstellten Maßnahmen unterstützt. Allerdings muss hierbei beachtet werden, dass in diesem Kapitel ausschließlich Endenergie betrachtet wird, aber eine Elektrifizierung des Verkehrs einen Teil der Umwandlungsverluste in die Energiewirtschaft verschiebt.

4.1.5.4 Reduktion des Bruttostromverbrauchs

Der Bruttostromverbrauch ist definiert als die Bruttostromerzeugung aller deutschen Kraftwerke (einschließlich Eigenverbrauch) abzüglich Stromexporte zuzüglich Stromimporte.

Abbildung 4-4: Veränderung des gesamten Bruttostromverbrauchs und des klassischen Bruttostromverbrauchs ohne neue Verbraucher zwischen 2014 und 2035 gegenüber dem Referenzjahr 2008



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

Der Bruttostromverbrauch im Referenzjahr 2008 lag bei 618 TWh.¹⁵⁰ Im Jahr 2014, dem Basisjahr der Modellierung, lag der Bruttostromverbrauch mit 591 TWh um etwa 4 % niedriger als 2008. Der Bruttostromverbrauch des Jahres 2020 ist im MMS quasi identisch zu dem von 2014, wobei anzumerken ist, dass 2014 ein sehr überdurchschnittlich warmes Jahr¹⁵¹ mit entsprechend vermindertem Energieverbrauch war. Das Ziel, den Bruttostromverbrauch bis 2020 um 10 % gegenüber 2008 zu senken, wird also mit knapp 6 % Prozentpunkten Abweichung noch nicht einmal halb erfüllt. Zwar sinkt der Bruttostromverbrauch in den Folgejahren (-9 % im Jahr 2025, -11 % im Jahr 2030 und -13 % im Jahr 2035), aber das Stromeinsparziel wird erst eine knappe Dekade später als vorgesehen erreicht.

Im MWMS ist der Bruttostromverbrauch 2020 zwar mit etwa 587 TWh leicht niedriger, aber dennoch wird das 2020-Stromsparziel um etwa fünf Prozentpunkte verfehlt. In den folgenden Szenariojahren ist die Stromeinsparung (-11 % im Jahr 2025, -13 % im Jahr 2030 und -14 % im Jahr 2035) um etwa ein bis zwei Prozentpunkte höher als im MMS.

¹⁵⁰ Das historische Maximum des Bruttostromverbrauchs wurde im Jahr 2007 verzeichnet und lag mit 621 TWh nur geringfügig höher.

¹⁵¹ Gemäß *Klimastatusbericht 2014* des DWD (2016) war das Jahr 2014 mit Abstand das bis zu diesem Zeitpunkt wärmste beobachtete Jahr in Deutschland. Besonders warm waren dabei das erste und das letzte Jahresdrittel, also insbesondere die Winter- und Übergangsmomente.

Im MEMS führen weitergehende Maßnahmen in allen Sektoren zu einem Bruttostromverbrauch von etwa 578 TWh im Jahr 2020. Dies ist zwar knapp 7 % niedriger als 2008, aber das Stromeinsparziel wird dennoch um über drei Prozentpunkte verfehlt. In den Jahren 2025 und 2030 liegen die Stromverbräuche jeweils knapp 13 % niedriger als 2008. Da sich anschließend der Einfluss der Elektromobilität und anderer neuer Verbraucher deutlich bemerkbar macht, steigt der Stromverbrauch bis 2035 wieder und liegt dann nur noch knapp 6 % niedriger als 2008.

Werden entsprechend dem Vorgehen in der Studie Klimaschutzszenario 2050 (Öko-Institut et al. 2015) die Stromverbrauchsziele nur auf den klassischen Stromverbrauch bezogen, also neue Stromverbräuche, die im Zuge der Sektorkopplung entstehen, herausgerechnet, so zeigt sich ein etwas anderes Bild: Im MMS liegt dann der klassische Stromverbrauch 2020 um 6 % niedriger als der (gesamte) Bruttostromverbrauch. Die Reduktion des klassischen Stromverbrauchs bis 2030 ist mit 14 % um drei Prozentpunkte höher als der gesamte Stromverbrauch. Auch im MWMS liegt der klassische Stromverbrauch 2020 um 6 % niedriger als 2008. Im Jahr 2030 des MWMS wird der klassische Stromverbrauch um 18 % gegenüber 2008 und somit um fünf Prozentpunkte mehr als der Gesamtstromverbrauch reduziert. Wie auch in den anderen beiden Szenarien ist im MEMS die Reduktion des klassischen Stromverbrauchs des Szenariensjahres 2020 um etwa einen Prozentpunkt höher als die Reduktion des Gesamtstromverbrauchs. Aber auch mit einer Reduktion des klassischen Stromverbrauchs um 8 % im MEMS wird das Ziel für 2020 verfehlt. Bis zum Jahr 2030 wird im MEMS der klassische Stromverbrauch um 22 % sinken, etwa neun Prozentpunkte mehr als der Gesamtstromverbrauch.

4.1.5.5 Steigerung der Energieproduktivität

Die Steigerung der Energieproduktivität (gemessen als Quotient aus Bruttowertschöpfung und Primärenergieverbrauch), liegt im MMS in den Jahren 2020 und 2025 mit 2,1 % p.a. bzw. 2,5 % p.a. noch oberhalb des Zielwerts von 2,1 % p.a. Allerdings sinkt die Steigerung der Energieproduktivität in den Folgejahren ab und liegt bei 1,9 % p.a. im Jahr 2030 bzw. 1,8 % p.a. im Jahr 2035. Im MWMS wird das Ziel, die Energieproduktivität zu steigern, in allen Szenariensjahren erfüllt. Auch im MEMS wird das Energieproduktivitätsziel deutlich übererfüllt, wobei die Energieproduktivität ab 2025 sogar durchgehend um mehr als einen Prozentpunkt höher liegt als im MWMS.

In allen drei Szenariensjahren ist die Steigerung der Energieproduktivität 2025 am stärksten. Einen signifikanten Einfluss hat hier der Kernenergieausstieg, der im Wesentlichen zwischen 2020 und 2025 erfolgt: Kernenergie hat einen vergleichsweise schlechten primärenergetischen Wirkungsgrad (per Konvention 33 %). Gleichzeitig mit dem Kernenergieausstieg werden die Stromexporte reduziert. Beides zusammen führt zu einer deutlichen Reduktion des Primärenergieverbrauchs der Stromerzeugung und – da die Stromerzeugung hieran einen großen Anteil hat – auch am Primärenergieverbrauch insgesamt.

4.2 Klimaschutzplan 2050

4.2.1 Definition der Ziele

Um das Erreichen der Klimaschutzziele für das Jahr 2030 zu sichern und den Fortschritt einzelner Sektoren besser messen zu können, hat die Bundesregierung im November 2016 für einzelne Sektoren Zielkorridore definiert. Die einzelnen Sektoren sind dabei wie folgt definiert:

- ▶ **Energiewirtschaft:** Emissionen von öffentlichen Kraftwerken und Heizwerken, Raffinerien (einschließlich Raffineriekraftwerken) und sonstige Umwandlung von Brennstoffen, Verdichterstationen im Erdgasnetz sowie diffuse Emissionen aus Brennstoffen.

- ▶ Gebäude: Emissionen aus privaten Haushalten und dem Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen. Dazu zählen auch Prozessfeuerungen, Kleinf Feuerungen und mobile Geräte.¹⁵² Nicht enthalten sind die energetischen Emissionen der Landwirtschaft.
- ▶ Verkehr: Inländischer Straßen- und Schienenverkehr, Binnen- und Küstenschifffahrt sowie inländischer Flugverkehr.
- ▶ Industrie: Energetische Emissionen des verarbeitenden Gewerbes einschließlich industrieller Eigenstromerzeugung sowie prozessbedingte Emissionen der Industrie. Ebenfalls enthalten sind die Emissionen des bauwirtschaftlichen Verkehrs.
- ▶ Landwirtschaft: Energetische Emissionen der Land- und Forstwirtschaft sowie der Fischerei sowie sämtliche nichtenergetischen Emissionen der Landwirtschaft.
- ▶ Sonstige: Dies umfasst den Bereich Abfall- und Abwasserwirtschaft.

Eine detaillierte Zuordnung einzelner CRF-Kategorien ist dem Anhang A2 zu entnehmen.

Die derzeit gültigen Sektorziele zeigt Tabelle 4-3. Derzeit läuft ein Projekt zur Folgenabschätzung (Impact Assessment), in Folge dessen die Sektorziele möglicherweise modifiziert werden.

Tabelle 4-3: Sektorziele aus dem Klimaschutzplan 2050

Sektor	1990	2014	2030	2030
	Emission in Mt CO ₂ e			Minderung ggü. 1990
Energiewirtschaft	466	358	175 – 183	62 – 61 %
Gebäude	209	119	70 – 72	67 – 66 %
Verkehr	163	160	95 – 98	42 – 40 %
Industrie	283	188	140 – 143	51 – 49 %
Landwirtschaft	90	73	58 – 61	34 – 31 %
Teilsomme	1.212	890	538 – 557	56 – 54 %
Sonstige	38	12	5	87 %
Gesamtsumme	1.250	902	543 – 562	56 – 55 %

Quelle: (BMUB 2016b), historische Daten aktualisiert entsprechend (UBA 2016a, 2016b)

Zudem wurde im Klimaschutzplan 2050 (BMUB 2016b) das „Leitbild der weitgehenden Treibhausgasneutralität bis Mitte des Jahrhunderts“ (also bis zum Jahr 2050) formuliert.

4.2.2 Sektorale Emissionen

Sowohl im MMS als auch im MWMS werden sämtliche Sektorziele verfehlt, siehe Tabelle 4-4. Die mit Abstand größten absoluten Zielverfehlungen sind in beiden Szenarien in der Energiewirtschaft (93 bzw. 58 Mt CO₂e) zu verzeichnen, gefolgt vom Verkehr (51 bzw. 40 Mt CO₂e). Deutlich geringere Zielverfehlungen weisen die Industrie (5 bzw. 4 Mt CO₂e) und die Gebäude (15 bzw. 12 Mt CO₂e) auf. Lediglich bei den „Sonstigen“ Emissionen, also der Abfallwirtschaft, beträgt die Zielverfehlung nur 1 Mt CO₂e (MMS) bzw. noch weniger (MWMS).

¹⁵² Dies bedeutet, dass neben den Emissionen der Heizungsanlagen auch beispielsweise die Emissionen der Warmwasserbereitstellung, von Gasherden und -öfen sowie Rasenmähern enthalten sind.

Im MEMS hingegen werden die meisten Sektorziele erreicht oder nur ganz knapp verfehlt. Im jeweiligen sektoralen Zielkorridor liegen die Gebäude, die Industrie und die Landwirtschaft. Der Verkehr verfehlt sein sektorales Ziel nur sehr knapp (0,3 Mt CO₂e bzw. 0,2 Prozentpunkte), was im Rahmen der langfristigen Unsicherheiten derartiger Szenariobetrachtungen zu vernachlässigen ist. Die Energiewirtschaft übererfüllt sogar das Sektorziel um 21 Mt CO₂ (2,8 Prozentpunkte), sodass in Summe die gesamten Treibhausgasemissionen im MEMS um 5,3 Mt CO₂e (entsprechend einem Prozentpunkt) unterhalb des Zielkorridors liegen.

Tabelle 4-4: Sektorale Treibhausgasemissionen 2030 im Vergleich zu den Sektorzielen des KSP 2050

Sektor	Emissionsziel 2030 laut KSP 2050		Modellierte Emissionen 2030			Modellierte Minderung 2030 ggü. 1990		
	Mt CO ₂	Minderung ggü. 1990	MMS	MWMS	MEMS	MMS	MWMS	MEMS
Energiewirtschaft	175 – 183	62 – 61 %	276,0	240,7	164,0	40,8%	48,4%	64,8%
Gebäude	70 – 72	67 – 66 %	86,6	84,3	70,2	58,5%	59,6%	66,4%
Verkehr	95 – 98	42 – 40 %	148,7	137,6	98,3	8,9%	15,7%	39,8%
Industrie	140 – 143	51 – 49 %	148,3	147,0	140,8	47,6%	48,1%	50,3%
Landwirtschaft	58 – 61	34 – 31 %	69,0	66,9	59,8	23,6%	25,9%	33,8%
Teilsumme	538 – 557	56 – 54 %	728,7	676,6	533,0	39,9%	44,2%	56,0%
Sonstige	5	87 %	6,0	5,2	4,8	84,1%	86,3%	87,5%
Gesamtsumme	543 – 562	56 – 55 %	734,7	681,8	537,7	41,2%	45,5%	57,0%

Quelle: (BMUB 2016b), historische Daten aktualisiert entsprechend (UBA 2016a, 2016b)

5 Schlussfolgerungen

Die vorliegenden Szenarien zeigen, dass weder mit den bereits implementierten Klimaschutzmaßnahmen (Mit-Maßnahmen-Szenario) noch mit den derzeit konkret geplanten Maßnahmen (Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario) die deutschen Treibhausgasminderungsziele erreicht werden. Auch werden die meisten energiepolitischen Ziele der Bundesregierung verfehlt. Zur Erreichung der energie- und klimapolitischen Ziele sind darüber hinausgehende Maßnahmen nötig. Wie ein Bündel an Maßnahmen zur Erreichung dieser Ziele und insbesondere der sektoralen Emissionsminderungsziele für das Jahr 2030 aussehen könnte, beschreibt das Mit-Erweiterten-Maßnahmen-Szenario.

Im Bereich der **Energiewirtschaft**, die von Kraftwerken dominiert ist, zeigt sich, dass sowohl die bisher bestehenden Ausbaupfade im Erneuerbare-Energien-Gesetz als auch die Zielwerte für erneuerbare Anteile am Bruttostromverbrauch zu unambitioniert sind, um das Sektorziel der Energiewirtschaft für das Jahr 2030 aus dem Klimaschutzplan 2050 zu erreichen. Sowohl im MMS als auch im MWMS wird dieses Sektorziel deutlich verfehlt, obwohl bis zum Jahr 2030 das Ziel für den Anteil erneuerbarer Energien am Strom aus dem Energie- und Klimaschutzkonzept 2010/2011 erreicht wird. Die Ergebnisse des MEMS können Hinweise geben, wie die Ausbaupfade und Ziele im Stromsektor neujustiert werden könnten, um eine Erreichung des Sektorziels der Energiewirtschaft zu ermöglichen. Für das Jahr 2030 erfolgte bereits eine Neuformulierung im Koalitionsvertrag 2018. Für die Folgejahre, insbesondere 2035 und 2040, ist eine Anhebung der Ziele notwendig. Daneben zeigt sich, dass Energiewende und Klimaschutz nicht nur den Aufbau von auf erneuerbaren Energiequellen basierenden Infrastrukturen bedeutet, sondern auch den gezielten Ausstieg aus alten, emissionsintensiven Technologien (insbesondere der Kohleverstromung und -verheizung). Die im MEMS unterlegte Volllaststundenbegrenzung für ältere Kohlekraftwerke ab dem Jahr 2020 sowie ein Kapazitätsmanagement für Braun- und Steinkohle ab dem Jahr 2030, verbunden mit einem deutlich ambitionierteren Ausbau der erneuerbaren Energien im Stromsektor als derzeit avisiert, zeigt einen Weg zur Erreichung des Sektorziels auf. Bei der Ausgestaltung des zukünftigen Stromsystems ist zu beachten, dass es zunächst in allen drei Szenarien zu einem Rückgang des Stromverbrauchs bis etwa zum Jahr 2030 kommt, dass anschließend allerdings zumindest im MEMS deutlich steigende Stromverbräuche durch den Ausbau der Elektromobilität und anderer neue Verbraucher in stationären Anwendungen (z. B. Wärmepumpen) zu verzeichnen sind.

Je ambitionierter das Szenario ist, desto größer sind auch die Veränderungen in der übrigen Energiewirtschaft. Eine emissionsärmere Fernwärmebereitstellung erfordert nicht nur emissionsarme Kraftwärmekopplungsanlagen sondern auch die verstärkte Nutzung erneuerbarer Technologien im Bereich der ungekoppelten Fernwärmeerzeugung. Die Emissionen der Raffinerien werden sich nur dann deutlich reduzieren, wenn deren Aktivität im gleichen Maß wie der Mineralölverbrauch reduziert wird.

In der **Industrie** führen die Maßnahmen im MMS und MWMS bereits relativ nahe an das Sektorziel des Klimaschutzplans 2050 für das Jahr 2030 heran. Im MMS und im MWMS können die energiebedingten Emissionen der Industrie vor allem durch Maßnahmen zur Energieeinsparung und Steigerung der Energieeffizienz reduziert werden. Dazu zählen z.B. Energieaudits, Energiemanagementsysteme, Energieeffizienznetzwerke, Mindeststandards und die finanzielle Förderung von effizienten Querschnittstechniken. Da eine ambitionierte Umsetzung der Maßnahmen angenommen wurde, sind die vorhandenen Effizienzpotenziale im MWMS weitestgehend erschöpft. Neue Maßnahmen im MEMS wirken daher vorwiegend den Brennstoffwechsel (Einsatz von Biomasse und Strom). Die Maßnahmen im MEMS schließen auch Preismechanismen wie einen CO₂-Aufschlag Energiesteuer mit ein. Weitere Emissionsreduktionen bei den Emissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung erfolgen hier einerseits durch Verschiebungen von Produktionsmengen in der Grundstoffindustrie und andererseits durch speziell die Emission fluorierter Treibhausgase adressierende Maßnahmen. Diese Entwicklungen sind jeweils im Wesentlichen schon im MMS enthalten, sodass es im Bereich der Indust-

rieprozesse und der Produktverwendung in den ambitionierten Szenarien nur zu geringfügig stärkeren Emissionsreduktionen kommt.

Der **Verkehr** ist sowohl im MMS als auch im MWMS weit vom sektoralen Zielkorridor des Klimaschutzplans 2050 für das Jahr 2030 entfernt. Im MMS sind bis 2030 nur leichte Emissionsreduktionen zu verzeichnen, und auch mit den zusätzlichen Maßnahmen im MWMS liegt der Verkehr noch sehr weit (40 Mt CO₂e bzw. 40 %) oberhalb des Sektorziels. Das MEMS hingegen erreicht das Sektorziel des Verkehrs knapp. Jedoch gelten viele der im MEMS unterstellten Einzelmaßnahmen in der heutigen Debatte für sich allein genommen schon als extrem ambitioniert (Tempolimit ab 2021, CO₂-Flottengrenzwerte von 20 g CO₂/km im Jahr 2030, Pkw-Maut ab 2025, hohe Durchdringung mit Oberleitungs-Lkw, etc.). Das Szenario zeigt damit den sehr hohen Handlungsdruck auf, wenn die Sektorziele des Verkehrs ernstgenommen werden. Die zentralen Minderungsbeiträge werden durch die sehr ambitionierte Ausgestaltung der CO₂-Flottengrenzwerte für Pkw und die Einführung einer netzweiten Maut für alle Fahrzeuge erreicht. Der aktuelle EU-Kommissionsvorschlag zur CO₂-Regulierung bis 2030 (30 % Reduktion ggü. 2021 bei Pkw und leichten Nutzfahrzeugen) würde das Erreichen der Minderungsziele im Verkehrssektor nahezu unmöglich machen.

Die geringe zusätzliche Wirkung des MWMS im Vergleich zum MMS zeigt, dass ambitionierte Maßnahmen im **Gebäude**bereich notwendig sind, um die Ziele des Klimaschutzplans 2050 zu erreichen. Eine Verschärfung des Neubaustandards oder eine Erhöhung des Budgets für die KfW-Programme ist nicht ausreichend. Dies ist umso mehr relevant, wenn die Energiepreise auf einem niedrigen Niveau verharren. Ambitionierte Maßnahmen wie eine Gebäudeklimaabgabe, Verschärfung des Ordnungsrechts für den Gebäudebestand sowie eine CO₂-Abgabe auf Brennstoffe werden im Rahmen des MEMS diskutiert. Der Gebäudebereich sollte nicht isoliert betrachtet werden, und die jeweiligen Strategien – ambitionierte Sanierungsmaßnahmen, Nutzung dezentraler EE-Wärme und Strom aus EE – hängen von den lokalen und regionalen Gegebenheiten ab. Kommunale Wärmeplanung und deren Umsetzung ist daher ebenfalls ein wichtiges Instrument.

Die Emissionen aufgrund von Stromverbrauch in privaten Haushalten werden zwar nicht bei den Gebäuden sondern bei den Kraftwerken und damit in der Energiewirtschaft bilanziert, aber auch hier zeigen die Szenarien einen Handlungsbedarf auf. Durch die Wirtschaftlichkeit und hohe Qualität von LED-Leuchtmitteln steigt deren Verbreitung schnell und mindert den Stromverbrauch für Beleuchtung in allen Szenarien beträchtlich. Bei Haushaltsgeräten allerdings gibt es noch Potentiale, die durch erweiterte Maßnahmen genutzt werden könnten. Die wichtigsten Politiken in diesem Bereich sind Mindeststandards nach Öko-Design-Richtlinie und Energieverbrauchskennzeichnung. Um die höchstmöglichen Einsparungen zu erreichen, sollte Öko-Design kontinuierlich an die verfügbaren Technologien angepasst werden. Die Verbrauchskennzeichnung darf sich nicht auf die Effizienz von Energieeinsatz pro Dienstleistung beschränken. Um den direkten Rebound-Effekt zu beschränken, sollte der absolute Energieverbrauch in Kilowattstunden pro Jahr stärker betont werden. So werden Verbraucher nicht durch effiziente aber große Geräte fehlgeleitet. Der Strombedarf für Haushalte hängt stark von der Anzahl der Haushalte ab. Daher sind die Einsparungsziele schwieriger erreichbar, wenn die Bevölkerung langsamer schrumpft oder die durchschnittliche Wohnfläche schneller zunimmt als erwartet.

Mit den bereits bestehenden Maßnahmen des MMS und den angelegten Maßnahmen des MWMS in der **Landwirtschaft** wird das Sektorziel des Klimaschutzplans 2050 für das Jahr 2030 nicht erreicht. Die Erreichung des Sektorziels im MEMS ist nur mit Hilfe weiterer technischer Maßnahmen (weitere Steigerung der Güllevergärung, Einsatz von Nitrifikationshemmstoffen) und durch strukturelle Änderungen in der Flächennutzung (neue Bewirtschaftungsformen bzw. Nutzungsaufgabe auf organischen Böden, Ausweitung des Ökolandbaus etc.) möglich. Im Hinblick auf das bestehende Langfristziel im Jahr 2050 fehlt damit der Spielraum für weitere Emissionsreduktionen. Folglich ist absehbar, dass Emissionsreduktionen langfristig im Bereich der Tierhaltung stattfinden müssen und eine Abstockung

der Tierbestände zur Zielerreichung unvermeidbar erscheint. Dieser Schritt muss frühzeitig vermittelt, diskutiert und vorbereitet werden.

Der **LULUCF**-Sektor ist zwar bisher beim Blick auf nationale Treibhausgasziele ausgeklammert. Dennoch werden im MEMS gegenüber dem MMS deutliche THG-Minderungen erreicht. So bildet im MMS der LULUCF-Sektor in den Jahren 2020 bis 2035 eine THG-Quelle. Im MEMS stellt der LULUCF-Sektor hingegen ab 2025 eine Emissionsenke dar. Die Maßnahmen in der Waldbewirtschaftung im MEMS zeigen eine direkte Wirkung und führen bereits im Jahr 2020 zu Emissionsminderungen gegenüber dem MMS. Die Maßnahmen zum Moorschutz, bei denen jedes Jahr auf weiteren Flächen der Torfkörper geschützt wird, bewirken eine kontinuierlich ansteigende THG-Minderung. Zusätzliche Emissionsminderungen bewirkt der Stopp des Torfabbaus.

Um die gesetzten Ziele für den erneuerbaren Anteil am Bruttoendenergieverbrauch zu realisieren, reicht es nicht aus, die Ziele für den Ausbau der erneuerbaren Energien am Stromverbrauch zu erreichen oder überzuerfüllen. Stattdessen sind auch weitere Maßnahmen in den Bereichen erneuerbare Wärme und erneuerbare Energien im Verkehr nötig, wie das MEMS zeigt.

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, zuletzt abgerufen am 02.08.2016.

Alfen Consult GmbH; AVISO GmbH; Institut für Verkehrswissenschaft, Westfälische Wilhelms-Universität Münster (2014b): 2. Ergänzungsberechnung zum Wegekostengutachten 2013 – 2017. Mautsatzberechnung als Grundlage für den „Entwurf eines Dritten Gesetzes zur Änderung des Bundesfernstraßenmautgesetzes“. Verfügbar unter https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/Strasse/wegekostengutachten-2013-2017-zweite-ergaenzungsberechnung.pdf?__blob=publicationFile.

Barthel, C.; Franke, M.; Müller, P. & Dittmar, C. (2010): Analyse der Vorstudien für Wohnungslüftung und Klimageräte. Veröffentlichung im Rahmen des Projektes "Materialeffizienz und Ressourcenschonung" (MaRes) Arbeitspaket 14 (Umweltbundesamt (UBA), Hrsg.).

BBSR (2015): Wohnungsmarktprognose 2030 (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Hrsg.), Bonn.

BDEW (2016): Strompreisanalyse Mai 2016 - Haushalte und Industrie (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., Hrsg.).

Bersch, Felix; Eilmes, berit; Karl, Astrid & Pasold, Stephanie (2012): Evaluierung des übrigen Öffentlichen Personennahverkehrs im Land Brandenburg. Abschlussbericht für Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft (MIL) des Landes Brandenburg (KCW GmbH & Nahverkehrberatung Südwest, Hrsg.), zuletzt abgerufen am 09.05.2017.

Beuth HS & IFEU (2017): Ableitung eines Korridors für den Ausbau der erneuerbaren Wärme im Gebäudebereich. Beuth Hochschule für Technik Berlin (Beuth HS); ifeu Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (IFEU). Verfügbar unter https://prof.beuth-hochschule.de/fileadmin/prof/jochum/Downloads/Anlagenpotenzial_Endbericht.pdf.

Biere, David (2015): Modellgestützte Szenario-Analyse der langfristigen Erdgasnachfrageentwicklung der deutschen Industrie. Dissertation (Fakultät für Wirtschaftswissenschaften des Karlsruher Institut of Technology, Hrsg.), Karlsruhe.

Billen, N.; Kalia, A.; Stahr, K.; Holz, I.; Böcker, R.; Peringer, A.; Marggraff, V.; Wiedmann, K.; Kaule, G. & Schwarz-v.Raumer, H.-G. (2015): Ökonomisch – ökologische Bewertung der Klimawirksamkeit von Mooren in Baden-Württemberg (Moore-BW). Teil 1: Ökologische Grundlagen, Entwicklungsoptionen, Landnutzung und THG-Emissionen (Forschungsbericht BWPLUS). Verfügbar unter http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/114455/bwm10002_3.pdf?command=downloadContent&filename=bwm10002_3.pdf&FIS=203.

BMEL (2016): Wald und Rohholzpotenzial der nächsten 40 Jahre - Ausgewählte Ergebnisse der Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung 2013 bis 2052. Verfügbar unter http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Wald-Rohholzpotential-40Jahre.pdf?__blob=publicationFile.

BMF (2015): 25. Subventionsbericht - Bericht der Bundesregierung über die Entwicklung der Finanzhilfen des Bundes und der Steuervergünstigungen für die Jahre 2013 bis 2016. Berlin: Bundesfinanzministerium.

BMUB (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, zuletzt abgerufen am 16.12.2016.

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 & 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, zuletzt abgerufen am 07.03.2017.

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) (2016): Evaluations- und Erfahrungsbericht für das Jahr 2015. Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), zuletzt abgerufen am 11.10.2016.

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.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2016a): Projektionsbericht 2015 (BMUB, Hrsg.). 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.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2016b): Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung, Berlin. Verfügbar unter https://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_bf.pdf, zuletzt abgerufen am 29.07.2018.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2014): Mehr aus Energie machen - Nationaler Aktionsplan für Energieeffizienz.

Bundesnetzagentur, Bundeskartellamt (2015): Monitoringbericht 2015. Bundesnetzagentur.

Bundesnetzagentur (BNetzA) (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.

Bundesnetzagentur (BNetzA) (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.

Bundesrat (1996): Stellungnahme der Bundesregierung zu der Entschließung des Bundesrates zur Verordnung zur Änderung düngemittelrechtlicher Vorschriften (Drucksache 239/96).

Bundesregierung (2010): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Verfügbar unter http://www.bundesregierung.de/ContentArchiv/DE/Archiv17/_Anlagen/2012/02/energiekonzept-final.pdf?__blob=publicationFile&v=5, zuletzt abgerufen am 07.07.2014.

Bundesregierung (2013): Projektionsbericht 2013 gemäß Entscheidung 280/2004/EG (BMUB, Hrsg.).

Bundesregierung (2016a): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie, Neuauflage 2016.

Bundesregierung (2016b): Frühjahrsprojektion 2016. Deutsche Wirtschaft wächst. Verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2016/04/2016-04-20-fruehjahrsprojektion-2016.html>.

Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (BITKOM) (2008): Die Zukunft der digitalen Consumer Electronics, Berlin.

BWE (2017): AGOW, BWE, Stiftung OFFSHORE-WINDENERGIE, VDMA und WAB - Ausbautzahlen 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-ausbautzahlen-2016>.

Capros, P.; De Vita, A.; Tasios, A.; Siskos, P.; Kannavou, M.; Petropoulos, A.; Evangelopoulou, S.; Zampara, M.; Papadopoulos, D.; Nakos, Ch.; et al.; Paroussos, 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.P. & 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, zuletzt abgerufen am 30.01.2017.

CDU, CSU, SPD (2018): Ein neuer Aufbruch für Europa. Eine neue Dynamik für Deutschland. Ein neuer Zusammenhalt für unser Land. Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD. 19. Legislaturperiode. Verfügbar unter https://www.spd.de/fileadmin/Dokumente/Koalitionsvertrag/Koalitionsvertrag_2018-2021_Bund_final.pdf.

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, Gerard; Schrotten, Arno; van Essen, Huib; Otten, Matthijs & Bucci, Pietro (2010): Price sensitivity of European road freight transport – towards a better understanding of existing results. significance; CE Delft, zuletzt abgerufen am 04.10.2016.

Dehoust, G.; Schüler, D.; Vogt, R. & Giegrich, J. (2010): Klimaschutzpotenziale 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 (2015). Gesetz zur Finanzierung der Beendigung des subventionierten Steinkohlenbergbaus zum Jahr 2018 (2015). Verfügbar unter <http://www.gesetze-im-internet.de/steinkohlefin/index.html>, abgerufen am 23.02.2017.

Deutscher Bundestag (2016a): Bericht der Bundesregierung über die Entwicklung der Kostendeckung im öffentlichen Personennahverkehr. Drucksache 18/8180, zuletzt abgerufen am 12.07.2016.

Deutscher Bundestag (2016b). Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (2016). Verfügbar unter <https://www.gesetze-im-internet.de/atg/index.html>, abgerufen am 23.02.2017.

Deutscher Bundestag (2016c). Gesetz zur Weiterentwicklung des Strommarktes (2016). Verfügbar unter http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBL&jumpTo=bgbl116s1786.pdf, abgerufen am 23.02.2017.

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, zuletzt abgerufen am 30.01.2017.

- Diefenbach, Nikolaus; Cischinsky, Holger; Rodenfels, Markus & Clausnitzer, Klaus-Dieter (2010): Datenbasis Gebäudebestand - Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt (IWU).
- Diekmann, Jochen; Eichhammer, W.; Rieke, H.; Schломann, B. & Ziesing, H. J. (1999): Energie-Effizienz-Indikatoren. Statistische Grundlagen, theoretische Fundierung und Orientierungsbasis für die politische Praxis. Heidelberg: Physica.
- DIW (2014): Data Documentation 72. Electricity Sector Data for Policy-Relevant Modeling: Data Documentation and Applications to the German and European Electricity Markets. Verfügbar unter <http://hdl.handle.net/10419/95950>.
- DWD (2016): Klimastatusbericht 2014. Deutscher Wetterdienst (DWD). Verfügbar unter https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimastatusbericht/publikationen/ksb_2014.pdf?__blob=publicationFile&v=4, zuletzt abgerufen am 19.02.2018.
- EC (2014a): 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.
- EEA (2017): EU Emissions Trading System (ETS) data viewer. European Environment Agency (EEA). Verfügbar unter <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/emissions-trading-viewer>, zuletzt abgerufen am 11.07.2017.
- Elsland, R. (2016): Long-term energy demand in the German residential sector. Baden-Baden.
- Energy Information Administration (EIA) (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.
- EU (2011): RICHTLINIE 2011/76/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 27. September 2011 zur Änderung der Richtlinie 1999/62/EG über die Erhebung von Gebühren für die Benutzung bestimmter Verkehrswege durch schwere Nutzfahrzeuge.
- EuP Preparatory Studies Lot 10 (2008): Residential room conditioning appliances (airco and ventilation). Final Report. Verfügbar unter <http://www.ecoaircon.eu/>.
- European Commission (EC) (2014b). 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 (Commission Staff Working Document SWD(2013) 439 final, 2014).
- European Commission (EC) (2015): The 2015 ageing report. Economic and budgetary projections for the 28 EU Member States (2013-2060) (European economy, 3/2015). Luxembourg: Publications Office.
- European Commission (EC) (2016b). EU guidance (2016).
- European Commission (EC) (2016c). EU guidance (2016).
- European Commission (EC) (2016d): 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.
- European Union (EU) (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 (OJ L 140, 2009, S. 63). Verfügbar unter <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0063:0087:en:PDF>, abgerufen am 15.08.2014.
- European Union (EU) (2013). Regulation (EU) No 525/2013 of the European Parliament and of the Council of 21 May 2013 on a mechanism for monitoring and reporting greenhouse gas emissions and for reporting other information at national and Union level relevant to climate change and repealing Decision No 280/2004/EC (2013/162/EU) (OJ L 165, 18.06.2013, S. 13). Verfügbar unter <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013R0525&from=EN>, abgerufen am 11/10/2018.

- EWI; Prognos & gws (2014). Entwicklung der Energiemärkte - Energiereferenzprognose. Projekt Nr. 57/12.
- 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., Schlomann, B. & Eichhammer, W. (Hrsg.) (2013): Energieverbrauch und CO₂ Emissionen industrieller Prozesstechniken - Einsparpotenziale, Hemmnisse und Instrumente. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- Fleiter, Tobias; Braungardt, Sibylle; Sohaib, Tariq; Schlomann, Barbara; Eichhammer, Wolfgang; Elsland, Rainer; Kranzl, Lukas & Jakob, Martin (2015): Assessing the impact of the EU Ecodesign Directive on a member state level (e-ecce summer study proceedings, Hrsg.), Presqu'île de Giens, France.
- Fleiter, Tobias; Fehrenbach, Daniel; Worrell, Ernst & Eichhammer, Wolfgang (2012a). Energy efficiency in the German pulp and paper industry - A model-based assessment of saving potentials. Energy 40 (1), S. 84–99. Verfügbar unter <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036054421200120X>.
- Fleiter, Tobias; Gruber, Edelgard; Eichhammer, Wolfgang & Worrell, Ernst (2012b). The German energy audit program for firms - a cost-effective way to improve energy efficiency? Energy Efficiency 5 (4), S. 447–469.
- Flessa, H.; Greef, J. M.; Hofmeier, M.; Dittert, K.; Ruser, R.; Osterburg, B.; Poddey, E.; Wulf, S. & Pacholski, A. (2014a): Minderung von Stickstoff-Emissionen aus der Landwirtschaft. Nitrifikationsinhibitoren, eine Option zur Minderung der N₂O-Emission? (BMEL, Hrsg.) (Forschung Themenheft 1/2014).
- Flessa, Heinz; Greef, Jörg M.; Hofmeier, Maximilian; Ruser, Rainer; Osterburg, Bernhard; Poddey, Elke; Wulf, Sebastian & Pacholski, Andreas (2014b): Minderung von Stickstoff-Emissionen aus der Landwirtschaft. Empfehlungen für die Praxis und aktuelle Fragen an die Wissenschaft. Nitrifikationsinhibitoren, eine Option zur Minderung der N₂O Emissionen? (Senat der Bundesforschungsinstitute des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft, Hrsg.) (Forschung Themenheft 1/2014).
- 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 & 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, Fraunhofer IFAM, Prognos, IFEU & HfWU, Hrsg.), 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.

Fraunhofer IZM (Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration), Fraunhofer ISI (Institut für System- und Innovationsforschung) (2009): Abschätzung des Energiebedarfs der weiteren Entwicklung der Informationsgesellschaft. Studie im Auftrag des BMWi., Berlin, Karlsruhe.

Gesellschaft für Konsumforschung (GfK) (2002-2010): GfK Retail Panel Haushaltsgeräte Deutschland 1998-2008 – Waschmaschinen, Wäschetrockner, Geschirrspülmaschine, Kühlschrank, Gefrierschrank, Kochen und Klimaanlage, Nürnberg.

Hackmann, M.; Pyschny, H. & Stanek, R. (2015): Total Cost of Ownership Analyse für Elektrofahrzeuge. P3 automotive GmbH (P3 group).

Harthan, Ralph O. (2015): Integration of Renewable Energies into the German Power System and Their Influence on Investments in New Power Plants. Integrated Consideration of Effects on Power Plant Investment and Operation (Dissertation). Verfügbar unter http://www.qucosa.de/recherche/frontdoor/?tx_slubopus4frontend%5Bid%5D=16011, zuletzt abgerufen am 14.07.2016.

Hautzinger, H.; Mayer, K.; Helms, M.; Kern, C.; Wiesenhütter, M.; Haag, G. & Binder, J. (2004): Analyse von Änderungen des Mobilitätsverhaltens - insbesondere der Pkw-Fahrleistung - als Reaktion auf geänderte Kraftstoffpreise. des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn.

Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER); Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH; Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT); Johann Heinrich von Thünen-Institut; Öko-Institut; Stern, Rainer Dr.; Department of Climate, Air and Sustainability (TNO); Universität Stuttgart; Bundesforschungsanstalt für Ländliche Räume, Wald und Fischerei; Institut für Ländliche Räume & Institut für agrarrelevante Klimaforschung (2014): Luftqualität 2020/2030: Weiterentwicklung von Prognosen für Luftschadstoffe unter Berücksichtigung von Klimastrategien; Texte 35/2014 (Umweltbundesamt (UBA), Hrsg.), Dessau-Roßlau. Verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/texte_35_2014_komplett.pdf, zuletzt abgerufen am 22.02.2017.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2014): 2013 revised supplementary methods and good practice guidance arising from the Kyoto Protocol. Verfügbar unter http://www.ipcc-nggip.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-nggip.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, zuletzt abgerufen am 03.09.2014.

IREES & Fraunhofer ISI (2010): Evaluierung des Förderprogramms "Energieeffizienzberatung" als Komponente des Sonderfonds "Energieeffizienz in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU)", Karlsruhe.

IREES & Fraunhofer ISI (2014): Evaluation des Förderprogramms „Energieberatung im Mittelstand“ (Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien & Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung, Hrsg.), Karlsruhe.

Jaccard, Mark (2005). Hybrid energy-economy models and endogenous technological change. In R. Loulou, J.-P. Waub & G. Zaccour (Hrsg.), *Energy and Environment* (S. 81–109). New York: Springer.

Jochem, Eberhard & Idrissova, Farikha (2014): Bericht über die Auswertungen der Daten der Initialberatungen aus dem Projekt "30 Pilot-Netzwerke", Karlsruhe.

Jochem, Eberhard; Mai, Michael & Ott, Volker (2010). Energieeffizienznetzwerke - beschleunigte Emissionsminderung in der mittelständischen Wirtschaft. Zeitschrift für Energiewirtschaft 34, S. 21–28.

Kaya, Yoichi & Yokobori, Keiichi (1997): Environment, energy, and economy: strategies for sustainability. Tokio: United Nations Univ. Press.

- Kesicki, Fabian & Yanagisawa, Akira (2015). Modelling the potential for industrial energy efficiency in IEA's World Energy Outlook. *Energy Efficiency* 8 (1), S. 155–169.
- KfW (2016a): Energieeffizient Bauen Für Bau oder Ersterwerb eines neuen KfW-Effizienzhauses. Die Konditionen im Einzelnen. Verfügbar unter <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Neubau/Finanzierungsangebote/Energieeffizient-Bauen-%28153%29/>.
- KfW (2016b): IKK – Energieeffizient Bauen und Sanieren Investieren Sie in energiesparende Nichtwohngebäude. Das Wichtigste in Kürze. Verfügbar unter <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/%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/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/F%C3%B6rderprodukte/EE-Bauen-und-Sanieren-Unternehmen-276-277-278/>.
- Kless, S. & Veldues, B. (2008): Auszug aus *Wirtschaft und Statistik: Ausgewählte Ergebnisse für kleine und mittlere Unternehmen in Deutschland 2005*. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Knörr, Wolfram; Bergk, Fabian; Gores, Sabine & Heidt, Christoph (2014): „Aktualisierung „Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030“ (TREMODO) für die Emissionsberichterstattung 2015 (Berichtsperiode 1990-2013). ifeu Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (IFEU), zuletzt abgerufen am 27.10.2016.
- Korn, Michael; Leupold, Andreas; Niederau, Arnold; Schneider, Christiane; Hartwig, Karl-Hans & Scheffler, Raimund (2014): Berechnung der Wegekosten für das Bundesfernstraßennetz sowie der externen Kosten nach Maßgabe der Richtlinie 1999/62/EG für die Jahre 2013 bis 2017. Weimar, Leipzig, Aachen, Münster: Alfen Consult GmbH; AVISO GmbH; Institut für Verkehrswissenschaft, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, zuletzt abgerufen am 27.01.2016.
- Kranzl, Lukas; Hummel, Marcus; Müller, Andreas & Steinbach, Jan (2013). Renewable heating: perspectives and the impact of policy instruments. *Energy Policy* 59, S. 44–58.
- Lam, Shu K.; Suter, Helen; Mosier, Arvin & Chen, Deli (February 2017). Using nitrification inhibitors to mitigate agricultural N₂O emission: A double-edged sword? *Global Change Biology* Volume 23, Issue 2, S. 485–489.
- Litman, Todd (2013): Transport Elasticities: Impacts on Travel Behaviour. Understanding Transport Demand to Support Sustainable Travel Behaviour. Sustainable Urban Transport Technical Document # 1 (Deutsche Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit (GIZ), Hrsg.). Verfügbar unter <http://www.transport-indonesia.org/Web-Publications/A%20giz2013-0280en-transport-elasticity.pdf>, zuletzt abgerufen am 19.06.2017.
- Litman, Todd (2016): Transit Price Elasticities and Cross-Elasticities (Victoria Transport Policy Institute, Hrsg.), zuletzt abgerufen am 12.07.2016.
- Milchindustrie (o.J.).
- Miller, Joshua (2016). Reducing CO₂ emissions from road transport in the European Union: An evaluation of policy options. Verfügbar unter http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_EU-CO2-policies_201606.pdf, zuletzt abgerufen am 13.12.2016.
- Muller, Adrian; Schader, Christian; El-Hage Scialabba, Nadia; Brüggemann, Judith; Isensee, Anne; Erb, Karl-Heinz; Smith, Pete; Klocke, Peter; Leiber, Florian; Stolze, Matthias & Niggli, Urs (2017). Strategies for feeding the world more sustainably with organic agriculture. *Nature communications* 8 (1), S. 1290.
- Müller, Andreas (2015): Energy Demand Assessment for Space Conditioning and Domestic Hot Water : A Case Study for the Austrian Building Stock. Technische Universität Wien.
- Müller, Andreas & Biermayr, Peter (2011). Die Zukunft des Wärmebedarfs für Heizung und Brauchwassererwärmung in österreichischen Gebäuden bis 2050. 7. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien IEWT. Wien: Energy Economics Group, Vienna University of Technology., S. 1–17.

Nabitz, Lisa; Hirzel, Simon & Antoni, Oliver (2016): Evaluierung und Weiterentwicklung des Energieeffizienzfonds. AP2 Teil Evaluierung des Programms „Förderung von Energiemanagementsystemen“. Fraunhofer ISI.

Netzentwicklungsplan Strom (NEP) (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.

Nitsch, Joachim; Pregger, Thomas; Naegler, Tobias; Heide, Dominik; Luca de Tena, Diego; Trieb, Franz; Scholz, Yvonne; Nienhaus, Kristina; Gerhardt, Norman; Sterner, Michael; Trost, Tobias; von Oehsen, Amany; Schwinn, R.; Pape, C.; Hahn, H.; Wickert, M. & Wenzel, B. (2012). Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. Verfügbar unter <http://elib.dlr.de/76043>, zuletzt abgerufen am 30.01.2017.

OECD (2016): Economic Outlook No 99 - June 2016.

Offermann, Frank (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 (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), Hrsg.). Verfügbar unter <https://www.oeko.de/oekodoc/2208/2014-754-de.pdf>, zuletzt abgerufen am 16.01.2017.

Öko-Institut (2015): Die Entwicklung der EEG-Kosten bis 2035. Wie der Erneuerbaren-Ausbau entlang der langfristigen Ziele der Energiewende wirkt (Agora, Hrsg.), Berlin.

Öko-Institut; Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI) (2015): Klimaschutzszenario 2050. 2. Endbericht. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Berlin. Verfügbar unter <https://www.oeko.de/oekodoc/2451/2015-608-de.pdf>, zuletzt abgerufen am 29.07.2018.

Öko-Institut & Fraunhofer ISI (2016): Umsetzung Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 – Begleitung der Umsetzung der Maßnahmen des Aktionsprogramms. Berlin, Karlsruhe: Öko-Institut; Fraunhofer ISI.

Öko-Institut; 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 & 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 et al. (2015): Klimaschutzszenario 2050. 2. Modellierungsrunde (Öko-Institut, Hrsg.). Berlin: Öko-Institut et al. Verfügbar unter <http://www.oeko.de/oekodoc/2451/2015-608-de.pdf>, zuletzt abgerufen am 28.06.2016.

Öko-Institut et al. (2017): Klimaschutz im Stromsektor 2030. Vergleich von Instrumenten zur Emissionsminderung. im Auftrag des Umweltbundesamtes.

- Öko-Institut, Büro für Energiewirtschaft und technische Planung GmbH, Prof. Dr. Stefan Klinski (2017a): Klimaschutz im Stromsektor 2030 - Vergleich von Instrumenten zur Emissionsminderung. Endbericht (Umweltbundesamt (UBA), Hrsg.) (Climate Change 02/2017), Dessau-Roßlau. Verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1/publikationen/2017-01-11_cc_02-2017_strommarkt_endbericht.pdf, zuletzt abgerufen am 27.01.2017.
- Osterburg, B.; Rüter, S.; Freibauer, A.; Witte, T. de; Elsasser, P.; Kätsch, S.; Leischner, B.; Paulsen, H. M.; Rock, J.; Röder, N.; Sanders, J.; Schweinle, J.; Steuk, J.; Stichnothe, H.; Stümer, W.; Welling, J. & Wolff, A. (2013): Handlungsoptionen für den Klimaschutz in der deutschen Agrar- und Forstwirtschaft (Thünen Report Nr. 11). Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut.
- Peter, Martin; Bertschmann-Aeppli, Damaris; Zandonella, Remo & Maibach, Markus (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/d3de69df-a4d9-4d4c-9367-60237b62b815/wirkunglvs_sb_infras_270612_zusammenfassung.pdf.
- Prognos (2014): Ermittlung der Förderwirkungen des KfW-Energieeffizienzprogramms für den Förderjahrgang 2012 (Prognos, Hrsg.), 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 Energiemärkte - Energiereferenzprognose. Endbericht. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Verfügbar unter <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/entwicklung-der-energiemaerkte-energiereferenzprognose-endbericht,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>, zuletzt abgerufen am 24.07.2015.
- 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, Hrsg.), Braunschweig.
- Scheurer, Marco; Sacher, Frank & Brauch, Heiz-Jürgen (2014): Abschlussbericht: Studie zur Bedeutung von Nitrifikations- und Ureaseinhibitoren für die Roh- und Trinkwasserbeschaffenheit in Deutschland (DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Hrsg.), Bonn.
- 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.
- Scholz, Th.; Schmallowsky, A. & Wauer, T. (2007): Auswirkungen eines allgemeinen Tempolimits auf Autobahnen im Land Brandenburg. Schlothauer & Wauer Ingenieurgesellschaft für Straßenwesen; Landesbetrieb Straßenwesen Brandenburg.
- Schubert, Markus; Kluth, Tobias; Nebauer, Gregor; Ratzenberger, Ralf; Kotzagiorgis, Stefanos; Butz, Bernd; Schneider, Walter & Leible, Markus (2014): Verkehrsverflechtungsprognose 2030. Schlussbericht. Los 3: Erstellung der Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen unter Berücksichtigung des Luftverkehrs (Bundesministerium für Ver-

kehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Hrsg.). Freiburg, München, Aachen, Essen: Intraplan Consult (Intraplan); Beratergruppe Verkehr + Umwelt (BVU); Ingenieurgruppe IVV (IVV); Planco Consulting (Planco).

Statistisches Bundesamt (2012): Fachserie 4 Reihe 6.4: Produktion im Produzierenden Gewerbe (Statistisches Bundesamt, Hrsg.).

Statistisches Bundesamt (StBA) (2001-2015): Fachserie 19, Reihe 1 Abfallentsorgung.

Statistisches Bundesamt (StBA) (2010): Produktionsdatenbank (Prodcom), Wiesbaden. Verfügbar unter <http://www.eds-destatis.de/de/theme4/prodcom.php>.

Statistisches Bundesamt (StBA) (2013). Laufende Wirtschaftsrechnungen - Einnahmen und Ausgaben privater Haushalte. Fachserie 15 (1).

Statistisches Bundesamt (StBA) (2014a): Monatsbericht über die Elektrizitätsversorgung.

StBA (2009): Bevölkerung Deutschlands bis 2060, 12. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung.

StBA (2014b).

StBA (2014c). Verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/EinkommenKonsumLebensbedingungen/AusstattungGebrauchsgueter/Tabellen/Haushaltsgeraete_D.html;jsessionid=C31652E6733135B52042C3DE401DC823.cae4.

StBA (2014d): 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.

Steinbach, Jan (2013). Akteurspezifische Untersuchung von Strategien zur Steigerung der Energieeffizienz und zum Ausbau erneuerbarer Energien im Wohngebäudebereich. Proceedings of the IEWT (8. Internationale Energiewirtschaftstagung) Wien.

Steinbach, Jan (2015): Modellbasierte Untersuchung von Politikinstrumenten zur Förderung erneuerbarer Energien und Energieeffizienz im Gebäudebereich (Fraunhofer Verlag, Hrsg.), Stuttgart. Verfügbar unter <https://www.verlag.fraunhofer.de/bookshop/buch/Modellbasierte-Untersuchung-von-Politikinstrumenten-zur-Foerderung-erneuerbarer-Energien-und-Energieeffizienz-im-Gebaeudebereich/245046>.

Thünen (2012): Bundeswaldinventur: Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung (2012). Verfügbar unter <https://bwi.info/?inv=WEHAM2012>.

Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.) (2011): Projektionen zu den Emissionen von HFKW, FKW und SF6 für Deutschland bis zum Jahr 2050 (Climate Change 21/2011). Verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4226.pdf>, zuletzt abgerufen am 16.01.2017.

Umweltbundesamt (UBA) (2014a): Best-Practice-Kostensätze für Luftschadstoffe, Verkehr, Strom- und Wärmezeugung – Anhang B der „Methodenkonvention 2.0 zur Schätzung von Umweltkosten, aktualisierte Fassung Februar 2014.“.

Umweltbundesamt (UBA) (2014b): Kraftwerke in Deutschland. (ab 100 Megawatt elektrischer Leistung).

Umweltbundesamt (UBA) (2014c): Treibhausgasneutrales Deutschland 2050.

Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.) (2015a): Maßnahmen zur Verbesserung der Marktdurchdringung klimafreundlicher Technologien ohne halogenierte Stoffe vor dem Hintergrund der Revision der Verordnung (EG) Nr. 842/2006 (Climate Change 6/2015). Verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/>

climate_change_06_2015_massnahmen_zur_verbesserung_der_marktdurchdringung.pdf, zuletzt abgerufen am 16.01.2017.

Umweltbundesamt (UBA) (2015b): Maut für Deutschland: Jeder Kilometer zählt. Der Beitrag einer Lkw-, Bus- und Pkw-Maut zu einer umweltorientierten Verkehrsinfrastrukturfinanzierung (ISSN 2363-829). Verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/maut_fuer_deutschland_jeder_kilometer_zaehlt_web.pdf.

Umweltbundesamt (UBA) (2016a): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2016. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 - 2014 (Climate Change 23/2016), Dessau-Roßlau.

Umweltbundesamt (UBA) (2016b): Zentrales System Emissionen (ZSE). Datenauspielung, Stand 11.10.2016.

Umweltbundesamt (UBA) (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.

Umweltbundesamt (UBA) (2017c): Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 – 2016. Umweltbundesamt (UBA). Verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-05-22_climate-change_15-2017_strommix.pdf.

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.

Verbandepapier (2016): Zukunftschancen der Gemeinsamen Agrarpolitik für Landwirtschaft, Umwelt und Tierschutz nutzen., Berlin.

Wietschel, Martin; Gnann, Till; Kühn, André; Plötz, Patrick; Moll, Cornelius; Speth, Daniel; Buch, Jan; Boßmann, Tobias; Stütz, Sebastian; Schellert, Maximilian; Rüdiger, David; Balz, Werner; Frik, Helmut; Waßmuth, Volker; Paufler-Mann, Daniela; Rödl, Anne; Schade, Wolfgang & Mader, Simon (2017): Machbarkeitsstudie zur Ermittlung der Potentiale des Hybrid-Oberleitungs-Lkw. Studie im Rahmen der Wissenschaftlichen Beratung des BMVI zur Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie. Karlsruhe: Fraunhofer Institut für System- und Innovationstechnik (ISI); Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML); PTV Transport Consult; TU Hamburg-Harburg; M-Five.

Wirtschaftliche Vereinigung Zucker e.V. (WVZ) (o.J.).

Wolfram, P. & Lutsey, N. (2016): Electric vehicles: Literature review of technology costs and carbon emissions. International Council on Clean Transportation (ICCT). Verfügbar unter http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_LitRvw_EV-tech-costs_201607.pdf.

Wuppertal Institut; ifeu Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (IFEU); Öko-Institut; Fraunhofer Institut für System- und Innovationstechnik (ISI); IREES & Institut für Organisationskommunikation (IFOK) (2016): Maßnahmenkatalog. Ergebnis des Dialogprozesses zum Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung. Verfügbar unter https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/6748/file/6748_Massnahmenkatalog.pdf, zuletzt abgerufen am 01.06.2018.

Zimmer, Wiebke; Blanck, Ruth; Bergmann, Thomas; Mottschall, Moritz; Waldenfels, Rut von; Förster, Hannah; Schumacher, Katja; Cyganski, Rita; Wolfermann, Axel; Winkler, Christian; Heinrichs, Matthias; Dünnebeil, Frank; Fehrenbach, Horst; Kämper, Claudia; Biemann, Kirsten; Kräck, Jan; Peter, Martin; Zandonella, Remo & Bertschmann, Damaris (2016): Endbericht Renewbility III. Optionen einer Dekarbonisierung des Verkehrssektors. Studie im Auftrag des BMUB 2016. Öko-Institut; DLR; ifeu Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (IFEU); infras.

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, Handelbare Zertifikate, Einspeisevergütungen, Handelbare Quoten, Tarifpolitik, Marktreform/-öffnung, Subventionen und öffentliche Infrastrukturausgaben, Zuschüsse, verbilligte Kredite, Staatliche Investitionen
Fiskalische Instrumente	F	Finanzielle Anreize durch Steuererleichterungen
Verpflichtungserklärungen	V	Freiwillige und verhandelte Selbstverpflichtungen: Vereinbarungen von Wirtschaftsbereichen, Branchen oder Unternehmen
Regulierung	R	Ordnungsrechtliche Vorschriften: Ver- und Gebote, technische Standards, Zulassungs- und Prüfverfahren
Information	I	Allgemeine Information und Beratung: Produktkennzeichnung, Broschüren, Informationszentralen, Agenturen, Beratungsstellen, Information im Rahmen freiwilliger Selbstverpflichtungen
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
Planung	P	Managementpläne: Pläne, z.B. im Bereich Mobilität, Abfallwirtschaft oder Stadtentwicklung
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	

CRF	Projektionsbericht 2017	Klimaschutzplan 2050	Kommentar
1.A.4.b Haushalte	Haushalte	Gebäude	
1.A.4.c Landwirtschaft (energiebedingt)	GHD	Landwirtschaft	u.a. Kraftstoffeinsatz in Land- und Forstwirtschaft
1.A.5 Andere Bereiche	GHD	Gebäude	Militär (stationär + mobil)
1.B Diffuse Emissionen	Diffuse Emissionen	Energiewirtschaft	
2 Industrieprozesse	Industrieprozesse	Industrie	
3 Landwirtschaft	Landwirtschaft	Landwirtschaft	
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 2016b) 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, Tabelle A-5-4 und Tabelle A-5-5 zeigen daher die Ergebnisse dieses Berichts 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 ₂ 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
Teilsumme	1.211,9	970,6	926,4	890,2	807,7	786,1	728,7	664,2
Sonstige	38,0	21,2	14,6	11,6	8,4	6,9	6,0	5,2
Gesamt	1.249,8	991,8	941,0	901,8	816,2	793,0	734,7	669,4
<i>ggü. 2005</i>	26,0 %	0,0 %	-5,1 %	-9,1 %	-17,7 %	-20,0 %	-25,9 %	-32,5 %
<i>ggü. 1990</i>	0,0 %	-20,6 %	-24,7 %	-27,8 %	-34,7 %	-36,6 %	-41,2 %	-46,4 %
<i>ggü. Basisjahr^a</i>	-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: ^a Das Basisjahr ist 1990 für Kohlendioxid, Methan und Lachgas sowie 1995 für HFKW, FKW, Schwefelhexafluorid und Stickstofftrifluorid, die Basisjahremission wurde entsprechend berechnet. Aufgrund laufender methodischer Verbesserungen und Aktualisierungen im deutschen Treibhausgasinventar können die 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 ₂ 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
Teilsumme	1.211,9	970,6	926,4	890,2	797,1	753,6	676,6	587,7
Sonstige	38,0	21,2	14,6	11,6	8,3	6,3	5,2	4,6
Gesamt	1.249,8	991,8	941,0	901,8	805,4	759,9	681,8	592,3
<i>ggü. 2005</i>	26,0 %	0,0 %	-5,1 %	-9,1 %	-18,8 %	-23,4 %	-31,3 %	-40,3 %
<i>ggü. 1990</i>	0,0 %	-20,6 %	-24,7 %	-27,8 %	-35,6 %	-39,2 %	-45,5 %	-52,6 %
<i>ggü. Basisjahr^a</i>	-0,3 %	-20,9 %	-24,9 %	-28,1 %	-35,8 %	-39,4 %	-45,6 %	-52,8 %

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

Anmerkung: ^a Das Basisjahr ist 1990 für Kohlendioxid, Methan und Lachgas sowie 1995 für HFKW, FKW, Schwefelhexafluorid und Stickstofftrifluorid, die Basisjahremission wurde entsprechend berechnet. Aufgrund laufender methodischer Verbesserungen und Aktualisierungen im deutschen Treibhausgasinventar können die Werte für 1990 bis 2014 von den Angaben im Klimaschutzplan 2050 abweichen.

Tabelle A-5-5: Entwicklung der gesamten Emissionen nach KSP-2050-Sektoren im MEMS, 1990-2035

Sektor	1990	2005	2010	2014	2020	2025	2030	2035
	Mt CO ₂ e							
Energiewirtschaft	466,4	396,7	368,7	358,0	243,6	215,0	164,0	94,8
Industrie	283,1	190,5	187,2	180,7	171,3	156,4	140,8	126,9
Gebäude	208,7	154,0	148,6	118,9	112,2	91,4	70,2	52,4
Verkehr	163,3	159,9	153,0	159,9	156,9	129,8	98,3	65,1
Landwirtschaft	90,3	69,5	69,0	72,6	68,3	63,6	59,8	57,0
Teilsumme	1.211,9	970,6	926,4	890,2	752,3	656,2	533,0	396,2
Sonstige	38,0	21,2	14,6	11,6	8,2	6,1	4,8	4,2
Gesamt	1.249,8	991,8	941,0	901,8	760,5	662,3	537,7	400,4
<i>ggü. 2005</i>	26,0 %	0,0 %	-5,1 %	-9,1 %	-23,3 %	-33,2 %	-45,8 %	-59,6 %
<i>ggü. 1990</i>	0,0 %	-20,6 %	-24,7 %	-27,8 %	-39,1 %	-47,0 %	-57,0 %	-68,0 %
<i>ggü. Basisjahr^a</i>	-0,3 %	-20,9 %	-24,9 %	-28,1 %	-39,3 %	-47,2 %	-57,1 %	-68,1 %

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

Anmerkung: ^a Das Basisjahr ist 1990 für Kohlendioxid, Methan und Lachgas sowie 1995 für HFKW, FKW, Schwefelhexafluorid und Stickstofftrifluorid, die Basisjahremission wurde entsprechend berechnet. Aufgrund laufender methodischer Verbesserungen und Aktualisierungen im deutschen Treibhausgasinventar können die Werte für 1990 bis 2014 von den Angaben im Klimaschutzplan 2050 abweichen.

A4 Bruttostromerzeugung

Tabelle A-5-6: 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 ^a	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
Bruttostromerzeugung	640,7	626,6	632,6	603,2	601,6	579,2
<i>Änderung ggü. 2008</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-2,2 %</i>	<i>-1,3 %</i>	<i>-5,8 %</i>	<i>-6,1 %</i>	<i>-9,6 %</i>
<i>Erneuerbarer Anteil</i>	<i>14,5 %</i>	<i>25,7 %</i>	<i>38,2 %</i>	<i>43,6 %</i>	<i>47,6 %</i>	<i>51,3 %</i>
Stromhandelssaldo ^b	-22,5	-35,6	-41,3	-38,6	-50,7	-33,8
Bruttostromverbrauch	618,2	591,0	591,3	564,7	550,9	545,3
<i>Änderung ggü. 2008</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-4,4 %</i>	<i>-4,4 %</i>	<i>-8,7 %</i>	<i>-10,9 %</i>	<i>-11,8 %</i>
<i>Erneuerbarer Anteil</i>	<i>15,1 %</i>	<i>27,3 %</i>	<i>40,9 %</i>	<i>46,6 %</i>	<i>52,0 %</i>	<i>54,5 %</i>

Quelle: AGEB 2016, Modellierung Öko-Institut

Anmerkung: ^a Einschließlich organischen Anteils des Mülls. ^b Ein positives Vorzeichen zeigt einen Importüberschuss, ein negatives Vorzeichen einen Exportüberschuss an.

Tabelle A-5-7: 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 ^a	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
Bruttostromerzeugung	640,7	626,6	626,2	593,7	595,4	574,0
<i>Änderung ggü. 2008</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-2,2 %</i>	<i>-2,3 %</i>	<i>-7,3 %</i>	<i>-7,1 %</i>	<i>-10,4 %</i>
<i>Erneuerbarer Anteil</i>	<i>14,5 %</i>	<i>25,7 %</i>	<i>38,6 %</i>	<i>45,2 %</i>	<i>50,2 %</i>	<i>56,9 %</i>
Stromhandelssaldo ^b	-22,5	-35,6	-39,7	-43,9	-58,2	-39,2
Bruttostromverbrauch	618,2	591,0	586,5	549,8	537,2	534,7
<i>Änderung ggü. 2008</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-4,4 %</i>	<i>-5,1 %</i>	<i>-11,1 %</i>	<i>-13,1 %</i>	<i>-13,5 %</i>
<i>Erneuerbarer Anteil</i>	<i>15,1 %</i>	<i>27,3 %</i>	<i>41,2 %</i>	<i>48,8 %</i>	<i>55,7 %</i>	<i>61,0 %</i>

Quelle: AGEB 2016, Modellierung Öko-Institut

Anmerkung: ^a Einschließlich organischen Anteils des Mülls. ^b Ein positives Vorzeichen zeigt einen Importüberschuss, ein negatives Vorzeichen einen Exportüberschuss an.

Tabelle A-5-8: Bruttostromerzeugung im MEMS (2008-2035)

Energieträger	2008	2014	2020	2025	2030	2035
	TWh					
Kernenergie	148,8	97,1	66,5	0,0	0,0	0,0
Braunkohle	150,6	155,8	73,0	63,6	46,6	0,0
Steinkohle	124,6	118,6	104,7	86,2	48,2	23,3
Erdgas	89,1	61,1	71,4	84,6	96,5	107,5
Mineralöl	9,7	5,7	1,6	1,5	1,2	0,5
Wasserkraft	20,4	19,6	21,5	21,0	20,7	20,7
Windenergie onshore	40,6	55,9	106,1	126,6	155,8	196,4
Windenergie offshore	0,0	1,4	30,1	43,2	73,0	90,8
Photovoltaik	4,4	36,1	49,4	70,7	85,1	97,9
Biomasse ^a	27,8	48,3	49,6	45,4	31,8	20,1
Geothermie	0,0	0,0	1,6	3,8	6,1	8,9
Sonstige	24,7	27,0	29,1	26,2	26,4	26,9
Bruttostromerzeugung	640,7	626,6	604,4	572,8	591,3	593,0
<i>Änderung ggü. 2008</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-2,2 %</i>	<i>-5,7%</i>	<i>-10,6%</i>	<i>-7,7%</i>	<i>-7,4%</i>
<i>Erneuerbarer Anteil</i>	<i>14,5 %</i>	<i>25,7 %</i>	<i>42,7%</i>	<i>54,2%</i>	<i>63,0%</i>	<i>73,3%</i>
Stromhandelssaldo ^b	-22,5	-35,6	-26,5	-32,3	-52,1	-10,7
Bruttostromverbrauch	618,2	591,0	577,9	540,5	539,2	582,3
<i>Änderung ggü. 2008</i>	<i>0,0 %</i>	<i>-4,4 %</i>	<i>-6,5%</i>	<i>-12,6%</i>	<i>-12,8%</i>	<i>-5,8%</i>
<i>Erneuerbarer Anteil</i>	<i>15,1 %</i>	<i>27,3 %</i>	<i>44,7%</i>	<i>57,5%</i>	<i>69,1%</i>	<i>74,7%</i>

Quelle: AGEB 2016, Modellierung Öko-Institut

Anmerkung: ^a Einschließlich organischen Anteils des Mülls. ^b Ein positives Vorzeichen zeigt einen Importüberschuss, ein negatives Vorzeichen einen Exportüberschuss an.