

# Politikszzenarien für den Klimaschutz V – auf dem Weg zum Strukturwandel

Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030



UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES  
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,  
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Förderkennzeichen 206 42 106  
UBA-FB 001308

## **Politiksznarien für den Klimaschutz V - auf dem Weg zum Strukturwandel**

**Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030**

von

**Felix Chr. Matthes, Sabine Gores, Ralph O. Harthan, Lennart Mohr,  
Gerhard Penninger**

Öko-Institut, Institut für Angewandte Ökologie

**Peter Markewitz, Patrick Hansen, Dag Martinsen**

Forschungszentrum Jülich, Institut für Energieforschung - Systemforschung  
und Technologische Entwicklung (IEF-STE)

**Jochen Diekmann, Manfred Horn**

Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW Berlin)

**Wolfgang Eichhammer, Tobias Fleiter, Jonathan Köhler, Wolfgang  
Schade, Barbara Schlomann, Frank Sensfuß**

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (FhG-ISI)

**Hans-Joachim Ziesing**

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

**UMWELTBUNDESAMT**

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter [http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql\\_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3764](http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3764) verfügbar. Hier finden Sie auch eine Kurzfassung auf Deutsch und Englisch.

Die in der Studie geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

ISSN 1862-4359

Herausgeber: Umweltbundesamt  
Postfach 14 06  
06813 Dessau-Roßlau  
Tel.: 0340/2103-0  
Telefax: 0340/2103 2285  
Email: [info@umweltbundesamt.de](mailto:info@umweltbundesamt.de)  
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Umweltbundesamt, Fachgebiet I 2.2, Kai Kuhnenn  
Öko-Institut, Sabine Gores  
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Silke Karcher

Dessau-Roßlau, Oktober 2009

**Berichts-Kennblatt**

1. Berichtsnummer UBA FB 001308	2.	3.
4. Titel des Berichts Politiksznarien V – auf dem Weg zum Strukturwandel. Treibhausgas-Emissionssznarien bis zum Jahr 2030		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Matthes, F.Chr.; Gores, S.; Harthan, R.O.; Mohr, L.; Penninger, G., Markewitz, P.; Hansen, P.; Martinsen, D.; Diekmann, J.; Horn, M.; Eichhammer, W.; Fleiter, T.; Köhler, J.; Schade, W.; Schlomann, B.; Sensfuß, F.; Ziesing, H.-J.	8. Abschlussdatum 9.10.2009	
	9. Veröffentlichungsdatum Oktober 2009	
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Öko-Institut, Novalisstr. 10, D-10115 Berlin DIW Berlin, Mohrenstr. 58, D-10117 Berlin FZJ, IEF-STE, D-52425 Jülich FhG-ISI, Breslauer Str. 48, D-76139 Karlsruhe	10. UFOPLAN-Nr. 206 42 106	
	11. Seitenzahl 284	
	12. Literaturangaben 168	
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift)  Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 D-06844 Dessau	13. Tabellen und Diagramme 128	
	14. Abbildungen 42	
15. Zusätzliche Angaben		
16. Kurzfassung Es werden Sznarien für Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen erstellt. Diese erfassen die Endverbrauchssektoren (Haushalte, GHD, Verkehr, Industrie) sowie die Umwandlungssektoren (Strom- und Fernwärmeerzeugung, andere Energiesektoren). Die Sznarien wurden über die Modellierungen sektorspezifischer politischer Maßnahmen und Ziele entwickelt. Berücksichtigt werden im Mit-Maßnahmen-Sznario die im Zeitraum 2000 bis Ende 2008 umgesetzten politischen Maßnahmen. Im Strukturwandel-Sznario werden zusätzliche energie- und klimapolitische Maßnahmen oder Zielvorgaben abgebildet. Das Basisjahr für die Sznarien ist 2005, der Sznariohorizont reicht bis 2030. Die Sznarienanalyse enthält auch eine Abschätzung der aus der Wirtschaftskrise 2008/2009 resultierenden Effekte für die Treibhausgasemissionen.		
17. Schlagwörter  Klimaschutzpolitik, Energiepolitik, Emissionsminderungsmaßnahmen, Implikationsanalysen, Energiesznarien, Energiemodelle, Erneuerbare Energien, Verkehrssznarien		
18. Preis	19.	20.

**Report Cover Sheet**

1. Report No. UBA FB 001308	2.	3.
4. Report Title Policy Scenarios V – towards a structural change; Greenhouse Gas Emissions Scenarios up to 2030		
5. Author(s), Family Name(s), First Name(s) Matthes, F.Chr.; Gores, S.; Harthan, R.O.; Mohr, L.; Penninger, G., Markewitz, P.; Hansen, P.; Martinsen, D.; Diekmann, J.; Horn, M.; Eichhammer, W.; Fleiter, T.; Köhler, J.; Schade, W.; Schlomann, B.; Sensfuß, F.; Ziesing, H.-J.		8. Report Date 9.10.2009
		9. Publication Date October 2009
6. Performing Organisation (Name, Address) Öko-Institut, Novalisstr. 10, D-10115 Berlin DIW Berlin, Mohrenstr. 58, D-10117 Berlin FZJ, IEF-STE, D-52425 Jülich FhG-ISI, Breslauer Str. 48, D-76139 Karlsruhe		10. UFOPLAN-Ref. No. 206 42 106
		11. No. of Pages 284
		12. No. of References 168
		13. No. of Tables, Diagrams 128
7. Sponsoring Agency (Name, Address)  Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 D-06844 Dessau		14. No. of Figures 42
15. Supplementary Note		
16. Abstract Scenarios are developed for energy consumption and greenhouse gas emissions. These comprise the end-use sectors (residential, tertiary, transport, industry) as well as the energy transformation sectors (electricity and district heat production, other energy sectors). The scenarios were elaborated using sector-specific models considering policy measures and targets. The policy measures implemented in the time period of 2000 to end-2008 are taken into account in the 'With Measures Scenario'. In the 'Structural Change Scenario', additional measures and targets of energy and climate policy are represented. The base year for the scenarios is 2005; the time horizon extends to 2030. The analysis includes also estimates on the effects of the economic crisis in 2008/2009 on the future greenhouse gas emission levels.		
17. Keywords Climate protection policy; energy policy; mitigation measures; implication analyses; energy scenarios; energy models; renewable energies; transport scenarios		
18. Price	19.	20.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>21</b>
<b>Executive Summary</b> .....	<b>31</b>
<b>1 Einleitung und methodischer Ansatz</b> .....	<b>41</b>
1.1 Einleitung.....	41
1.2 Methodischer Ansatz für die Emissionsprojektionen.....	43
<b>2 Sektorübergreifende Rahmendaten und Maßnahmen</b> .....	<b>47</b>
2.1 Demographische und gesamtwirtschaftliche Rahmendaten .....	47
2.1.1 <i>Bevölkerung und Haushalte</i> .....	47
2.1.2 <i>Wirtschaftswachstum und Struktur</i> .....	48
2.2 Energie- und Zertifikatspreisentwicklung .....	55
2.2.1 <i>Energiepreise und Wechselkurs</i> .....	55
2.2.2 <i>Preise für Emissionsberechtigungen im EU-Emissionshandelssystem</i> .....	56
2.3 Sektorübergreifende Maßnahmen.....	56
<b>3 Szenarienbeschreibung und sektorale Quantifizierung der Maßnahmenwirkungen</b> .....	<b>59</b>
3.1 Einleitung.....	59
3.2 Projektionen einzelner Sektoren innerhalb des integrierten Modells .....	60
3.2.1 <i>Verkehr</i> .....	60
3.2.1.1 Vorbemerkungen.....	60
3.2.1.2 Rahmendaten und Maßnahmen.....	61
3.2.1.2.1 Rahmendaten.....	61
3.2.1.2.2 Maßnahmen des Mit-Maßnahmen-Szenarios .....	62
3.2.1.2.3 Maßnahmen des Strukturwandel-Szenarios .....	63
3.2.1.3 Methodik.....	66
3.2.1.3.1 Grundstruktur von ASTRA.....	66
3.2.1.3.2 Struktur des Verkehrsmodells von ASTRA.....	67
3.2.1.3.3 Abgleich von ASTRA mit TREMOD sowie den Inventar- und Energiebilanzdaten.....	70
3.2.1.3.4 Methodische Ansätze für die Analyse des MMS für den Verkehrssektor .....	73
3.2.1.3.5 Methodische Ansätze für die Analyse des SWS für den Verkehrssektor .....	74
3.2.1.4 Annahmen und Parameter .....	77
3.2.1.5 Ergebnisse der Projektionen .....	78
3.2.1.5.1 Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) .....	78
3.2.1.5.2 Strukturwandel-Szenario (SWS).....	81
3.2.1.5.3 Vergleich der Emissionseinsparungen .....	86
3.2.2 <i>Private Haushalte – Raumwärme und Warmwasser</i> .....	87
3.2.2.1 Rahmendaten und Maßnahmen.....	87
3.2.2.1.1 Vorbemerkungen und Rahmendaten .....	87
3.2.2.1.2 Mit-Maßnahmen-Szenario .....	88
3.2.2.1.3 Strukturwandel-Szenario .....	107
3.2.2.2 Methodik.....	117
3.2.2.3 Annahmen und Parameter .....	118
3.2.2.3.1 Leitparameter für die Analyse der Gebäude.....	118
3.2.2.3.2 Definition der Szenarien .....	119
3.2.2.4 Ergebnisse der Projektionen .....	120
3.2.2.4.1 Vorbemerkungen.....	120
3.2.2.4.2 Mit-Maßnahmen-Szenario .....	121

3.2.2.4.3	Strukturwandel-Szenario .....	122
3.2.2.4.4	Vergleich des Endenergiebedarfs und der Emissionseinsparungen in den Szenarien .....	123
3.2.3	<i>Gewerbe, Handel, Dienstleistungen – Raumwärme und Warmwasser</i> .....	125
3.2.3.1	Rahmendaten und Maßnahmen.....	125
3.2.3.2	Methodik.....	125
3.2.3.3	Annahmen und Parameter .....	125
3.2.3.4	Ergebnisse der Projektionen .....	125
3.2.3.4.1	Mit-Maßnahmen-Szenario .....	125
3.2.3.4.2	Strukturwandel-Szenario .....	126
3.2.4	<i>Private Haushalte – Strom</i> .....	127
3.2.4.1	Rahmendaten und Maßnahmen.....	127
3.2.4.1.1	Rahmendaten.....	127
3.2.4.1.2	Mit-Maßnahmen-Szenario .....	127
3.2.4.1.3	Strukturwandel-Szenario .....	128
3.2.4.2	Methodik.....	129
3.2.4.3	Annahmen und Parameter .....	131
3.2.4.4	Ergebnisse der Projektionen .....	136
3.2.5	<i>Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) und Industrie – Strom und Prozesswärme / -dampf</i> .....	142
3.2.5.1	Rahmendaten und Maßnahmen.....	142
3.2.5.1.1	Einführung und Rahmendaten .....	142
3.2.5.1.2	Mit-Maßnahmen-Szenario .....	143
3.2.5.1.3	Strukturwandel-Szenario .....	144
3.2.5.2	Methodik.....	150
3.2.5.3	Annahmen und Parameter .....	154
3.2.5.4	Ergebnisse der Projektionen .....	166
3.2.6	<i>Fossile Stromerzeugung</i> .....	180
3.2.6.1	Rahmendaten und Maßnahmen.....	180
3.2.6.1.1	Mit-Maßnahmen-Szenario .....	180
3.2.6.1.2	Strukturwandel-Szenario .....	182
3.2.6.2	Methodik.....	183
3.2.6.3	Annahmen und Parameter .....	186
3.2.6.4	Ergebnisse der Projektionen .....	194
3.2.6.4.1	Mit-Maßnahmen-Szenario .....	195
3.2.6.4.2	Strukturwandel-Szenario .....	198
3.2.6.4.3	Vergleich der Emissionseinsparungen zwischen MMS und SWS .....	202
3.2.7	<i>Erneuerbare Stromerzeugung</i> .....	204
3.2.7.1	Vorbemerkungen.....	204
3.2.7.2	Rahmendaten und Maßnahmen.....	204
3.2.7.2.1	Mit-Maßnahmen-Szenario .....	204
3.2.7.2.2	Strukturwandel-Szenario .....	204
3.2.7.3	Methodik.....	205
3.2.7.4	Annahmen und Parameter .....	206
3.2.7.5	Ergebnisse der Projektionen .....	208
3.2.7.5.1	Mit-Maßnahmen-Szenario .....	208
3.2.7.5.2	Strukturwandel-Szenario .....	209
3.2.8	<i>Andere Umwandlungssektoren</i> .....	212
3.2.8.1	Rahmendaten und Maßnahmen.....	212
3.2.8.2	Methodik, Annahmen und Parameter.....	212
3.2.8.3	Ergebnisse der Projektionen .....	213
3.3	Primär- und Endenergiebedarf .....	215
3.3.1	<i>Primärenergiebedarf</i> .....	215
3.3.2	<i>Endenergiebedarf</i> .....	219
3.4	Gesamte energiebedingte Treibhausgasemissionen.....	225
3.4.1	<i>Emissionen aus Verbrennungsprozessen</i> .....	225

3.4.2	<i>Flüchtige Treibhausgas-Emissionen des Energiesektors</i> .....	226
3.4.2.1	Rahmendaten und Maßnahmen .....	226
3.4.2.2	Methodik .....	226
3.4.2.3	Annahmen und Parameter .....	227
3.4.2.4	Ergebnisse der Projektionen .....	227
3.5	Projektionen nach sektorspezifischen Modellanalysen .....	230
3.5.1	<i>Industrieprozesse (einschließlich Produktverwendung)</i> .....	230
3.5.1.1	Rahmenbedingungen und Maßnahmen .....	230
3.5.1.1.1	CO <sub>2</sub> -, CH <sub>4</sub> - und N <sub>2</sub> O-Emissionen .....	230
3.5.1.1.2	HFKW-, FKW- und SF <sub>6</sub> -Emissionen .....	231
3.5.1.2	Prozessbedingte CO <sub>2</sub> -Emissionen .....	232
3.5.1.2.1	Methodik .....	232
3.5.1.2.2	Annahmen, Parameter und Ergebnisse der Projektionen .....	233
3.5.1.3	Prozessbedingte CH <sub>4</sub> - und N <sub>2</sub> O-Emissionen .....	238
3.5.1.3.1	Methodik sowie Annahmen und Parameter .....	238
3.5.1.3.2	Ergebnisse der Projektion .....	239
3.5.1.4	HFKW-, FKW- und SF <sub>6</sub> -Emissionen (Industrieprozesse und Produktverwendung) .....	240
3.5.1.4.1	Methodik sowie Annahmen und Parameter .....	240
3.5.1.4.2	Ergebnisse der Projektion .....	241
3.5.1.5	Ergebnisse der Projektionen für die prozessbedingten Treibhausgas-Emissionen (einschließlich Produktverwendung) .....	244
3.5.2	<i>Landwirtschaft</i> .....	246
3.5.2.1	Rahmendaten und Maßnahmen .....	246
3.5.2.2	Methodik .....	247
3.5.2.3	Annahmen und Parameter .....	247
3.5.2.4	Ergebnisse der Projektionen .....	249
3.5.3	<i>Abfallwirtschaft</i> .....	251
3.5.3.1	Rahmendaten und Maßnahmen .....	251
3.5.3.2	Methodik sowie Annahmen und Parameter .....	251
3.5.3.3	Ergebnisse der Projektionen .....	252
3.6	Entwicklung der gesamten Treibhausgas-Emissionen und deren Komponenten .....	254
3.6.1	<i>Entwicklung der Emissionen nach Treibhausgasen</i> .....	254
3.6.1.1	Mit-Maßnahmen-Szenario .....	254
3.6.1.2	Strukturwandel-Szenario .....	255
3.6.2	<i>Entwicklung der Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen</i> .....	256
3.6.2.1	Mit-Maßnahmen-Szenario .....	256
3.6.2.2	Strukturwandel-Szenario .....	257
3.6.3	<i>Komponentenanalyse und Abschätzung der Effekte der aktuellen wirtschaftlichen Entwicklungen</i> .....	258
3.6.3.1	Mit-Maßnahmen-Szenario .....	258
3.6.3.2	Strukturwandel-Szenario .....	259
3.6.3.3	Sensitivitätsanalyse für die Effekte der aktuellen Wirtschaftskrise .....	260
<b>4</b>	<b>Literatur</b> .....	<b>261</b>
	<b>Anhang</b> .....	<b>275</b>
A1	Instrumententypen .....	276
A2	Zusätzliche Ergebnistabellen .....	277
A2.1	<i>Mit-Maßnahmen-Szenario</i> .....	277
A2.2	<i>Strukturwandel-Szenario</i> .....	279
A3	Sensitivitätsrechnung CO <sub>2</sub> -Abscheidung und -Einlagerung (CCS) .....	281

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1	Modellübersicht zur Analyse der energiebedingten Treibhausgasemissionen .....	45
Abbildung 3-1	Entwicklung des Personenverkehrs (1970-2007) und Modal-Split in 2007 .....	60
Abbildung 3-2	Entwicklung des Güterverkehrs (1970-2007) und Modal-Split in 2007 .....	61
Abbildung 3-3	Struktur und Interaktionen des ASTRA-Modells.....	67
Abbildung 3-4	Abbildung des Verkehrssystems durch Differenzierung von Verkehrsträgern, Fahrtzwecken und Entfernungsbändern in ASTRA .....	68
Abbildung 3-5	Struktur des Personenverkehrsmodells in ASTRA.....	68
Abbildung 3-6	Struktur des Güterverkehrsmodells in ASTRA .....	69
Abbildung 3-7	Energieeinsparungen zwischen dem SWS und dem MMS im Verkehr nach Kraftstoffarten und Energieträgern.....	83
Abbildung 3-8	Berechnungsmodell für den Strombedarf elektrischer Haushaltsgeräte .....	130
Abbildung 3-9	Anteile der Effizienzklassen* an den Geräteverkäufen großer elektrischer Haushaltsgeräte 2005 und 2020 .....	134
Abbildung 3-10	Einsatz verschiedener Beleuchtungstechnologien in privaten Haushalten in Deutschland 2006.....	135
Abbildung 3-11	Stromverbrauch privater Haushalte im Jahr 2005 nach Gerätegruppen und Anwendungen .....	136
Abbildung 3-12	Entwicklung des Stromverbrauchs privater Haushalte nach Szenarien, 1990–2030 .....	137
Abbildung 3-13	Informationsprogramm für Unternehmen .....	146
Abbildung 3-14	Schematische Darstellung der Querschnittstechnologien und ihrer Systeme in der Industrie .....	151
Abbildung 3-15	Vereinfachte Darstellung des Industriemodells .....	152
Abbildung 3-16	Kosten-Potenzialkurve für das Jahr 2030 - Überblick der Einsparoptionen und ihrer Kosten bei industriellen Querschnittstechnologien.....	159
Abbildung 3-17:	Aufteilung des Stromverbrauchs im Sektor GHD nach Anwendungen (2005).....	164
Abbildung 3-18	Aufteilung des Brennstoffbedarfs im Sektor GHD nach Anwendungen (2005).....	165

Abbildung 3-19	Entwicklung der Wärmeerzeugung aus industrieller KWK.....	168
Abbildung 3-20	Entwicklung des Stromverbrauchs von elektrischen Heizungen in GHD .....	169
Abbildung 3-21	Maßnahmenwirkung in Industrie und GHD MMS: Stromeinsparungen .....	171
Abbildung 3-22	Maßnahmenwirkung in Industrie und GHD MMS: direkte CO <sub>2</sub> -Vermeidung .....	171
Abbildung 3-23	Maßnahmenwirkungen in Industrie und GHD SWS: Stromeinsparungen .....	172
Abbildung 3-24	Maßnahmenwirkungen in Industrie und GHD SWS: direkte CO <sub>2</sub> Vermeidung .....	173
Abbildung 3-25	Restlaufzeiten der deutschen Kernkraftwerke (verfügbare Engpassleistung zum Jahresende) .....	188
Abbildung 3-26	Entwicklung der Nettostromerzeugung im Mit-Maßnahmen-Szenario.....	195
Abbildung 3-27	Entwicklung der Nettostromerzeugung im Strukturwandel-Szenario .....	199
Abbildung 3-28	Struktur des Modells PowerACE ResInvest.....	206
Abbildung 3-29	Primärenergiebedarf nach Energieträgern im Mit-Maßnahmen-Szenario, 2005-2030.....	216
Abbildung 3-30	Primärenergiebedarf nach Energieträgern im Strukturwandel-Szenario, 2005-2030.....	217
Abbildung 3-31	Unterschiede im Primärenergiebedarf zwischen Strukturwandel-Szenario und Mit-Maßnahmen Szenario, 2005-2030 .....	218
Abbildung 3-32	Entwicklung des gesamten Endenergiebedarfs nach Energieträgern im Mit-Maßnahmen-Szenario, 2005-2030 .....	219
Abbildung 3-33	Sektorale Aufteilung des gesamten Endenergieverbrauchs im Mit-Maßnahmen-Szenario, 2005-2030 .....	220
Abbildung 3-34	Entwicklung des gesamten Endenergiebedarfs nach Energieträgern im Strukturwandel-Szenario, 2005-2030 .....	221
Abbildung 3-35	Sektorale Aufteilung des gesamten Endenergiebedarfs im Strukturwandel-Szenario, 2005-2030.....	222
Abbildung 3-36	Differenz des Endenergiebedarfs zwischen Strukturwandel-Szenario und Mit-Maßnahmen-Szenario nach Energieträgern, 2005-2030.....	223

Abbildung 3-37	Unterschiede im sektoralen Endenergiebedarf zwischen dem Strukturwandel-Szenario und dem Mit-Maßnahmen Szenario, 2005-2030 .....	223
Abbildung 3-38	Entwicklung der CH <sub>4</sub> - und N <sub>2</sub> O-Emissionen in der Landwirtschaft, 1990-2030 .....	250
Abbildung 3-39	Entwicklung der CH <sub>4</sub> -Emissionen aus Deponien, 1990-2030 .....	252
Abbildung 3-40	Komponentenanalyse für die energiebedingten Treibhausgasemissionen im Mit- Maßnahmen-Szenario, 2005-2030 .....	258
Abbildung 3-41	Komponentenanalyse für die energiebedingten Treibhausgasemissionen im Strukturwandel-Szenario, 2005-2030 .....	259
Abbildung 3-42	Sensitivitätsanalyse für die Effekte der Wirtschaftskrise 2008/2009 auf die energiebedingten Treibhausgasemissionen im Mit-Maßnahmen- und im Strukturwandel-Szenario, 2005-2030.....	260

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1	Wohnbevölkerung und Haushalte in Deutschland .....	48
Tabelle 2-2	Annahmen zum Wirtschaftswachstum für den Referenzfall und die Varianten .....	49
Tabelle 2-3	Wertschöpfung nach Wirtschaftszweigen .....	50
Tabelle 2-4	Struktur der realen Wertschöpfung nach Wirtschaftszweigen .....	51
Tabelle 2-5	Bruttowertschöpfung der Industrie (Verarbeitendes Gewerbe und Übriger Bergbau) .....	52
Tabelle 2-6	Erwerbstätige nach Wirtschaftszweigen.....	53
Tabelle 2-7	Erwerbstätige und Bruttowertschöpfung im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistung nach Branchen.....	54
Tabelle 2-8	Import- und Endverbraucherpreise für Energieträger, 2005-2030, Preisbasis 2005 .....	55
Tabelle 2-9	Angenommene Entwicklung der Zertifikatspreise .....	56
Tabelle 3-1	Personenverkehrsleistung.....	61
Tabelle 3-2	Güterverkehrsleistung .....	62
Tabelle 3-3	Anpassung des Personenverkehrs in ASTRA an die Rahmendaten.....	71
Tabelle 3-4	Anpassung des Güterverkehrs in ASTRA an die Rahmendaten.....	71
Tabelle 3-5	Anpassung des Energieverbrauchs in ASTRA an Rahmendaten.....	72
Tabelle 3-6	Entwicklung der Effizienz bei Straßenfahrzeugen im MMS.....	73
Tabelle 3-7	Zusätzliche Investitionskosten für neue PKWs .....	77
Tabelle 3-8	Jährliche Kfz-Steuer nach CO <sub>2</sub> Emissionen in Großbritannien .....	78
Tabelle 3-9	Verteilung der Geschwindigkeiten auf deutschen Autobahnen.....	78
Tabelle 3-10	Energieeinsparung durch das Mit-Maßnahmen-Szenario.....	79
Tabelle 3-11	Maßnahmenspezifische Minderung der Treibhausgasemissionen im MMS .....	80
Tabelle 3-12	Verkehrsenergienachfrage im MMS (ohne bauwirtschaftlichen Verkehr und Pipeline-Transport).....	81
Tabelle 3-13	Energieeinsparung durch das Strukturwandel-Szenario.....	82

Tabelle 3-14	Verkehrsenergienachfrage im SWS (ohne bauwirtschaftlichen Verkehr und Pipeline-Transport).....	83
Tabelle 3-15	Treibhausgas-Emissionsminderungen durch die Maßnahmen im SWS .....	85
Tabelle 3-16	Emissionen des Verkehrssektors im Vergleich der Szenarien, 1990-2030 .....	86
Tabelle 3-17	Determinanten für die Energieverbrauchsentwicklung im Raumwärmesektor, 2005-2030 .....	87
Tabelle 3-18	Analysierte Instrumente und Maßnahmen .....	88
Tabelle 3-19	Effekte des CO <sub>2</sub> -Gebäudesanierungsprogramms (2001- 2007) .....	90
Tabelle 3-20	Kreditvolumen und CO <sub>2</sub> -Einsparungen des CO <sub>2</sub> - Gebäude-sanierungsprogramms, 2006 bis 2030 .....	91
Tabelle 3-21	Kreditvolumen und Emissionseinsparungen des KfW- Programms "Wohnraum modernisieren", 2006 bis 2030 .....	92
Tabelle 3-22	Kreditvolumen und Emissionseinsparungen für das KfW- Programm „Energieeffizient Bauen“, 2006 bis 2030 .....	93
Tabelle 3-23	Kreditvolumen, Mehremissionen im Neubau und Emissionseinsparungen durch Sanierungen, 2006-2020.....	94
Tabelle 3-24	Fördervolumen und Emissionseinsparungen .....	96
Tabelle 3-25	Emissionseinsparungen durch Solarthermische Anlagen von 2006 bis 2030 .....	97
Tabelle 3-26	Emissionseinsparungen durch Biomasseanlagen.....	98
Tabelle 3-27	Basisförderung für die Wärmepumpen ab 2008.....	99
Tabelle 3-28	Emissionseinsparungen durch Wärmepumpen.....	99
Tabelle 3-29	Energieberatungen Vor-Ort und CO <sub>2</sub> - Emissionseinsparungen .....	101
Tabelle 3-30	Vergleich der maximal zulässigen Wärmedurchgangskoeffizienten.....	104
Tabelle 3-31	CO <sub>2</sub> -Einsparung durch die EnEV .....	104
Tabelle 3-32	CO <sub>2</sub> -Einsparungen durch das EEWärmeG im Neubau.....	105
Tabelle 3-33	Abschätzung der CO <sub>2</sub> -Einsparungen durch den Nutzertyp „Sparer“ im Vergleich zum Standardnutzer bis 2030 .....	106
Tabelle 3-34	CO <sub>2</sub> -Einsparungen durch Novellierungen der EnEV bis 2030 .....	108

Tabelle 3-35	Abschätzung der CO <sub>2</sub> -Einsparungen durch Wärme-Contracting bis 2030 .....	109
Tabelle 3-36	Erzielbare CO <sub>2</sub> -Emissionseinsparungen durch das Instrument „Heizkostenkürzungsrecht für Mieter“ bis 2030.....	112
Tabelle 3-37	Abschätzung der CO <sub>2</sub> -Einsparungen durch die Verpflichtung für Altbauten zur anteiligen Nutzung von Erneuerbaren Energien bei energetischen Sanierungen bis 2030.....	113
Tabelle 3-38	Berechnung der CO <sub>2</sub> -Einsparungen durch den Ersatz von Altbauten durch Neubauten bis 2030 .....	116
Tabelle 3-39	Berechnung der zusätzlichen CO <sub>2</sub> -Einsparungen durch die Steigerung der Energieeffizienz der KfW-Programme bis 2030.....	116
Tabelle 3-40	Bestimmung der zusätzlichen CO <sub>2</sub> -Einsparungen durch das Instrument „Energieeffizienz als mietspiegelrelevanter Inhalt“ bis 2030.....	117
Tabelle 3-41	Bereich der technischen Lebensdauer von Bauteilen in Jahren .....	119
Tabelle 3-42	Maßnahmenspezifische CO <sub>2</sub> -Einsparungen im Mit-Maßnahmen-Szenario.....	121
Tabelle 3-43	CO <sub>2</sub> -Einsparungen der Instrumente im Strukturwandel-Szenario .....	122
Tabelle 3-44	Entwicklung der Endenergiebedarfs in den Szenarien bis 2030 .....	123
Tabelle 3-45	Emissionseinsparungen bis 2030 im Vergleich der Szenarien .....	124
Tabelle 3-46	Emissionseinsparungen bis 2030 im Vergleich der Szenarien .....	126
Tabelle 3-47	Entwicklung des Bestands an elektrischen Geräten in privaten Haushalten zwischen 2005 und 2030 .....	132
Tabelle 3-48	Entwicklung des spezifischen Verbrauchs elektrischer Geräte in privaten Haushalten 2005-2030 .....	133
Tabelle 3-49	Entwicklung des Stromverbrauchs privater Haushalte 1990 – 2030 nach Szenarien .....	137
Tabelle 3-50	Entwicklung des Stromverbrauchs privater Haushalte 2005 - 2030 nach Szenarien und Anwendungsbereichen.....	138
Tabelle 3-51	Wirkung der strombezogenen Maßnahmen im Sektor private Haushalte - Mit-Maßnahmen-Szenario.....	139

Tabelle 3-52	Wirkung der strombezogenen Maßnahmen im Sektor private Haushalte – Strukturwandel-Szenario .....	140
Tabelle 3-53	Erzeugungsdaten für ausgewählte Produkte, 2002-2030 .....	142
Tabelle 3-54	Zuordnung und Wirkungsbereich der Maßnahmen in GHD und Industrie .....	150
Tabelle 3-55	Anteile der Querschnittstechnologien am Stromverbrauch der Wirtschaftszweige des produzierenden Gewerbes .....	158
Tabelle 3-56	Resultierende Entwicklung der Energieeffizienz einzelner Querschnittstechnologien im Sektor Industrie .....	160
Tabelle 3-57	Entwicklung des spezifischen Energiebedarfs einzelner Produkte im Mit-Maßnahmen-Szenario.....	161
Tabelle 3-58	Entwicklung des spezifischen Energiebedarfs einzelner Produkte im Strukturwandelszenario.....	162
Tabelle 3-59	Entwicklung der Energieintensität in den Wirtschaftszweigen der Industrie (Energieverbrauch pro Bruttowertschöpfung) .....	163
Tabelle 3-60	Resultierende Entwicklung der Energieeffizienz einzelner Anwendungen im Sektor GHD als Index (Strom).....	165
Tabelle 3-61	Resultierende Entwicklung der Energieeffizienz einzelner Anwendungen im Sektor GHD als Index (Brennstoffe) .....	166
Tabelle 3-62	Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der Industrie .....	167
Tabelle 3-63	Entwicklung von Brennstoff- und Stromverbrauch in Industrie und GHD.....	169
Tabelle 3-64	Übersicht der Maßnahmen und ihrer Wirkung im GHD Sektor im MMS.....	174
Tabelle 3-65	Übersicht der Maßnahmen und ihrer Wirkung in der Industrie im MMS .....	175
Tabelle 3-66	Übersicht der Maßnahmen und ihrer Wirkung im GHD Sektor im SWS.....	176
Tabelle 3-67	Übersicht der Maßnahmen und ihrer Wirkung in der Industrie im SWS.....	178
Tabelle 3-68	Technische Lebensdauer der Bestandskraftwerke .....	187
Tabelle 3-69	Ausgewählte Daten der Neubaukraftwerke (Kondensationskraftwerke).....	189
Tabelle 3-70	Ausgewählte Daten der Neubaukraftwerke (KWK-Anlagen) .....	190

Tabelle 3-71	Installierte elektrische Leistung von Kraftwerken, die sich in Planung bzw. Bau befinden.....	191
Tabelle 3-72	Auktionierungsanteil verschiedener Kraftwerke .....	193
Tabelle 3-73	Zubau von Mikro-BHKW im SWS.....	194
Tabelle 3-74	Entwicklung der Nettostromerzeugung im Mit-Maßnahmen-Szenario.....	196
Tabelle 3-75	Zusammenfassung der Wirkung bisheriger Maßnahmen (Mit-Maßnahmen-Szenario) .....	197
Tabelle 3-76	Entwicklung der Nettostromerzeugung im Strukturwandel-Szenario .....	200
Tabelle 3-77	Wirkung optionaler Maßnahmen zur Stromerzeugung im Kraftwerkspark (Differenz SWS – MMS) .....	200
Tabelle 3-78	Zusammenfassung der Wirkungen im Strukturwandel-Szenario .....	201
Tabelle 3-79	Emissionseinsparungen der Stromerzeugung bis 2030 im Vergleich der Szenarien .....	202
Tabelle 3-80	Übersicht über die Vergütungssätze des EEG 2009.....	207
Tabelle 3-81	Zusammenfassung des Mit-Maßnahmen-Szenario .....	208
Tabelle 3-82	Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Mit-Maßnahmen-Szenario.....	208
Tabelle 3-83	Wirkung der EEG-Novelle 2009 (Differenz Mit-Maßnahmen-Szenario, Szenario EEG 2004).....	209
Tabelle 3-84	Zusammenfassung des Strukturwandel Szenario.....	210
Tabelle 3-85	Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Strukturwandel-Szenario .....	210
Tabelle 3-86	Wirkung weiterer Maßnahmen zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien (Differenz SWS-MMS).....	211
Tabelle 3-87	CO <sub>2</sub> -, CH <sub>4</sub> - und N <sub>2</sub> O-Emissionen der übrigen Umwandlungssektoren im Mit-Maßnahmen- und im Strukturwandel-Szenario, 1990-2020.....	213
Tabelle 3-88	Entwicklung der CO <sub>2</sub> -, CH <sub>4</sub> - und N <sub>2</sub> O-Emissionen aus Verbrennungsprozessen im Mit-Maßnahmen- und im Strukturwandel-Szenario, 1990-2030.....	225
Tabelle 3-89	Entwicklung der flüchtigen CH <sub>4</sub> -Emissionen aus dem Energiesektor im Mit-Maßnahmen-Szenario, 2000-2030.....	228
Tabelle 3-90	Entwicklung der flüchtigen CH <sub>4</sub> -Emissionen aus dem Energiesektor im Strukturwandel-Szenario, 2000-2030.....	228

Tabelle 3-91	Entwicklung der prozessbedingten CO <sub>2</sub> -Emissionen für ausgewählte Produktionsprozesse im Mit-Maßnahmen-Szenario, 2000-2030 .....	235
Tabelle 3-92	Entwicklung der prozessbedingten CO <sub>2</sub> -Emissionen im Mit-Maßnahmen-Szenario für ausgewählte Prozesse, 2000-2030 .....	236
Tabelle 3-93	Entwicklung der prozessbedingten CO <sub>2</sub> -Emissionen im Strukturwandel-Szenario für ausgewählte Prozesse, 2000-2030 .....	237
Tabelle 3-94	Entwicklung der CH <sub>4</sub> - und N <sub>2</sub> O-Emissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung im Mit-Maßnahmen-Szenario und im Strukturwandel-Szenario, 2000-2030 .....	239
Tabelle 3-95	Entwicklung der HFKW-, FKW- und SF <sub>6</sub> - Emissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung im Mit-Maßnahmen-Szenario, 2000-2030.....	242
Tabelle 3-96	Entwicklung der HFKW-, FKW- und SF <sub>6</sub> - Emissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung im Strukturwandel-Szenario, 2000-2030.....	243
Tabelle 3-97	Entwicklung der gesamten CO <sub>2</sub> -, CH <sub>4</sub> - und N <sub>2</sub> O-Emissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung im Mit-Maßnahmen- und im Strukturwandel-Szenario, 1990-2030.....	244
Tabelle 3-98	Entwicklung der gesamten FKW-, HFKW- und SF <sub>6</sub> - Emissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung im Mit-Maßnahmen- und im Strukturwandel-Szenario, 1995-2030.....	245
Tabelle 3-99	Entwicklung der landwirtschaftlichen Aktivitätsdaten, 1990-2030 .....	249
Tabelle 3-100	Entwicklung der CH <sub>4</sub> -Emissionen in der Landwirtschaft, 1990-2030 .....	249
Tabelle 3-101	Entwicklung der N <sub>2</sub> O-Emissionen in der Landwirtschaft, 1990-2030 .....	250
Tabelle 3-102	Entwicklung der CH <sub>4</sub> - und N <sub>2</sub> O-Emissionen aus der Abfallwirtschaft, 2000-2030 .....	253
Tabelle 3-103	Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen im Mit-Maßnahmen-Szenario nach Gasen, 2000-2030 .....	254
Tabelle 3-104	Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen im Strukturwandel-Szenario nach Gasen, 2000-2030 .....	255

Tabelle 3-105	Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen im Mit-Maßnahmen-Szenario nach Quellbereichen, 2000-2030 .....	256
Tabelle 3-106	Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen im Strukturwandel-Szenario nach Quellbereichen, 2000-2020 .....	257
Tabelle A1- 1	Klassifikation der Instrumententypen .....	276
Tabelle A2- 1	Endenergiebedarf nach Energieträgern im Mit-Maßnahmen-Szenario, 1990-2030.....	277
Tabelle A2- 2	Endenergiebedarf nach Sektoren im Mit-Maßnahmen-Szenario, 1990-2030 .....	277
Tabelle A2- 3	Primärenergiebedarf nach Energieträgern im Mit-Maßnahmen-Szenario, 1990-2030.....	277
Tabelle A2- 4	Nettostromerzeugung und –aufkommen nach Energieträgern im Mit-Maßnahmen-Szenario, 1990-2030 .....	278
Tabelle A2- 5	Bruttostromerzeugung und –aufkommen nach Energieträgern im Mit-Maßnahmen-Szenario, 1990-2030 .....	278
Tabelle A2- 6	Endenergiebedarf nach Energieträgern im Strukturwandel-Szenario, 1990-2030.....	279
Tabelle A2- 7	Endenergiebedarf nach Sektoren im Strukturwandel-Szenario, 1990-2030 .....	279
Tabelle A2- 8	Primärenergiebedarf nach Energieträgern im Strukturwandel-Szenario, 1990-2030.....	279
Tabelle A2- 9	Nettostromerzeugung und –aufkommen nach Energieträgern im Strukturwandel-Szenario, 1990-2030 .....	280
Tabelle A2- 10	Bruttostromerzeugung und –aufkommen nach Energieträgern im Strukturwandel-Szenario, 1990-2030 .....	280



## Zusammenfassung

Für das Projekt „Politiksznarien für den Klimaschutz V“ (Politiksznarien V) wurden Szenarien für die Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland für den Zeitraum 2005 bis 2030 erarbeitet:

- ein *Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS)*, in dem die im Zeitraum 2000 bis 2007 (in besonderen Einzelfällen auch noch im Verlauf des Jahres 2008) in den verschiedenen Sektoren neu eingeführten oder maßgeblich geänderten klima- und energiepolitischen Maßnahmen berücksichtigt werden und dem eine hohe prognostische Relevanz zukommt;
- ein *Strukturwandel-Szenario (SWS)*, in dem zusätzlich die Wirkung weiterer klima- und energiepolitischer Instrumente für die Szenarientwicklung berücksichtigt wird.

Im Rahmen der Szenarienanalysen erfolgt eine detaillierte Bewertung der jeweiligen klima- und energiepolitischen Maßnahmen hinsichtlich ihrer Effekte für die Entwicklung der deutschen Treibhausgasemissionen. Berücksichtigt werden dabei die Emissionen der vom Kyoto-Protokoll erfassten Treibhausgase Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>), Lachgas (N<sub>2</sub>O), halogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW) und Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>) für die Quellsektoren Energie, Industrieprozesse, Produktverwendung, Landwirtschaft und Abfallwirtschaft. Der Quellbereich Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft wurde in den Analysen nicht berücksichtigt.

Zur Szenarientwicklung werden eine Reihe von sektorspezifischen Modellanalysen genutzt, die zu einem konsistenten und vollständigen Mengengerüst für den Energiebedarf und die Treibhausgasemissionen zusammengefasst werden. Spezifische Untersuchungen werden für die Bereiche Raumwärme und Warmwasser, elektrische Geräte, Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen, Verkehr, Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und die fossile Stromerzeugung sowie für die flüchtigen Emissionen des Energiesektors, prozessbedingte CO<sub>2</sub>-, CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen angestellt. Für ausgewählte andere Quellbereiche (HFKW-, FKW- und SF<sub>6</sub>-Emissionen sowie die Landwirtschaft) wurden Ergebnisse anderer Untersuchungen übernommen bzw. aufgearbeitet. Zur Integration und Emissionsermittlung werden ein Systemintegrationsmodul und ein Emissionsberechnungsmodell eingesetzt, mit deren Hilfe die detaillierten Sektorergebnisse zu einem Mengengerüst verdichtet werden, das vollständig kompatibel zu den deutschen Treibhausgasinventaren (zum Stand des Inventarberichts 2008) ist.

### **Rahmendaten**

Für die Entwicklung der Energiebedarfs- und Emissionsszenarien spielt eine Reihe wichtiger Rahmensetzungen eine entscheidende Rolle. Dies betrifft sowohl die demographischen und wirtschaftlichen Rahmendaten als auch die Entwicklung der Energie-

preise. Die Tabelle Z-1 zeigt die wichtigsten Rahmendaten für die Projektion im Überblick.

Der Szenarienentwicklung liegt eine demographische Entwicklung zugrunde, in der die deutsche Wohnbevölkerung in der Periode 2005 bis 2010 ihr höchstes Niveau erreicht und in den folgenden Jahren leicht zurückgeht, so dass für das Jahr 2020 81,3 Millionen Einwohner erwartet werden. Trotzdem erhöht sich die Zahl der Privathaushalte durch den anhaltenden Trend zu kleineren Haushalten bis zum Jahr 2030 noch leicht.

*Tabelle Z- 1            Ausgewählte demographische und wirtschaftliche Rahmendaten, 2005-2030*

	2005	2010	2015	2020	2025	2030
<b>Demographische Entwicklung</b>						
Wohnbevölkerung (1.000 Einwohner)	82.438	82.039	81.790	81.328	80.670	79.750
Private Haushalte (1.000 Haushalte)	39.178	40.108	40.629	41.185	41.461	41.701
<b>Wirtschaftliche Entwicklung</b>						
Bruttoinlandsprodukt (Mrd. €)	2.241	2.483	2.701	2.925	3.151	3.377
Bruttowertschöpfung des Verarbeitenden Gewerbes (Mrd. €)	455	521	563	606	652	697
Beschäftigte im Verarbeitenden Gewerbe (1.000 Beschäftigte)	7.506	7.476	7.291	7.080	6.786	6.508
Beschäftigte im Dienstleistungssektor (1.000 Beschäftigte)	27.265	27.866	27.534	27.101	26.356	25.634
<b>Primärenergieträgerpreise</b>						
Rohöl (€/t)	314	299	306	338	362	389
Steinkohle (€/t SKE)	65	78	79	85	90	95
CO <sub>2</sub> -Zertifikatspreise (€/EUA)	18	20	25	30	33	35
Anmerkung: Alle Preis- und Wertschöpfungsangaben sind preisbereinigt, die Preisbasis ist 2005						

Quellen:      Statistisches Bundesamt, Bafa, EIA (2007), Berechnungen DIW Berlin

Für die wirtschaftliche Entwicklung wird bis zum Jahr 2030 ein relativ stetiges Wachstum unterstellt, so dass das Niveau des deutschen Bruttoinlandsproduktes im Jahr 2030 um ca. 51 % über dem des Jahres 2005 liegt. Die Bruttowertschöpfung im Verarbeitenden Gewerbe nimmt im gleichen Zeitraum mit etwa 53 % etwas stärker zu. Hinsichtlich der Beschäftigungsstruktur wird davon ausgegangen, dass das Beschäftigungsniveau im Verarbeitenden Gewerbe im Jahr 2030 um etwa 13 % unter dem von 2005 liegen wird, dies entspricht einem Rückgang von fast einer Million Beschäftigten. Für den Bereich privater und öffentlicher Dienstleistungen wird bis zum Jahr 2015 von einem leichten Zuwachs der Beschäftigten in der Größenordnung von etwa 270.000 ausgegangen, bis zum Jahr 2030 gehen aber auch hier die Beschäftigtenzahlen auf ein Niveau von etwa 6 % unter den Werten von 2005 zurück.

Für die Entwicklung der Primärenergiepreise liegt den Szenarien ein Rohölpreis von ca. 389 € je Tonne für das Jahr 2030 zu Grunde, im Vergleich zum Jahr 2005 entspricht dies einer inflationsbereinigten Verteuerung um etwa 24 %. Für Steinkohle wird im langfristigen Trend von einer ähnlichen Dynamik wie bei der Rohölpreisentwicklung ausgegangen. Importierte Steinkohle ist danach im Jahr 2030 etwa 47 % teurer als im Jahr 2005 (diese hohe Steigerungsrate ergibt sich vor allem aus dem aus verschiedenen Gründen exzeptionell niedrigen Preisniveau des Jahres 2005; das 2030 erwartete

Preisniveau ordnet sich jedoch sehr gut in die langjährigen Zusammenhänge zwischen Öl- und Kohlepreisentwicklung ein). Hinsichtlich der Preise für EU-Emissionsberechtigungen liegt den Szenarien ein ab 2010 leicht steigender Preis zu Grunde, der im Jahr 2030 ein Niveau von 35 €/je EUA erreicht.

### **Entwicklung des Energiebedarfs**

Der Endenergiebedarf in Deutschland errechnet sich aus dem Energieeinsatz in den Bereichen Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, nationaler Verkehr sowie dem Brennstoffeinsatz in der Industrie (einschließlich des Brennstoffeinsatzes für die Wärmeerzeugung in den Heizkraftwerken des Verarbeitenden Gewerbes und des Übrigen Bergbaus). Nur nachrichtlich berücksichtigt wird bei der Ermittlung des Endenergiebedarfs im Rahmen der Projektion der Kraftstoffbedarf des internationalen Seeverkehrs.

Der Endenergieverbrauch in Deutschland im *Mit-Maßnahmen-Szenario* geht von 2005 bis 2030 um etwa 4 % zurück, ändert sich jedoch erheblich in seiner Struktur. Der Anteil von Mineralölprodukten nimmt im Zeitraum 2005 bis 2030 um etwa 5 Prozentpunkte ab und beträgt im Jahr 2020 etwa 35%. Der Anteil von Erdgas am gesamten Endenergiebedarf bleibt etwa konstant, der Anteil von Strom steigt mit 0,2 Prozentpunkten nur noch minimal; im Jahr 2030 repräsentieren Erdgas und Strom Anteile von etwa 27 bzw. 20 % des gesamten Endenergieaufkommens. Der (direkte) Anteil erneuerbarer Energien steigt von 5 auf 11 Prozent. In Anlehnung an die Konventionen der Erneuerbare-Energien-Richtlinie der EU ergibt sich ein direkter und indirekter Anteil der erneuerbaren Energien von 16 % im Jahr 2020 und 19 % im Jahr 2030. Die Anteile von Stein- und Braunkohle sowie von Fernwärme verändern sich dagegen nur unmaßgeblich, jeweils aber mit (sehr leicht) sinkender Tendenz.

Der Endenergiebedarf der privaten Haushalte und des GHD-Sektors (Gewerbe, Handel, Dienstleistungen) geht im *Mit-Maßnahmen-Szenario* von 2005 bis 2030 zurück; für die Haushalte beträgt dieser Rückgang 24 % und für den GHD-Sektor 23 %. Der Endenergiebedarf des nationalen Verkehrs geht nach einer leichten Steigerung bis zum Jahr 2015 wieder zurück und liegt im Jahr 2030 etwa 2 % unter dem Niveau von 2005. Ein erheblicher Zuwachs ergibt sich dagegen für die Industrie. Hier liegt der Endenergieverbrauch im Jahr 2030 um 14 % über dem Wert von 2005. Eine erhebliche Ausweitung des Energiebedarfs errechnet sich für den internationalen Luftverkehr; von 2005 bis 2030 steigt hier der Treibstoff- und Energiebedarf um etwa 81 %.

Im *Strukturwandel-Szenario* ist der Projektionszeitraum von 2005 bis 2030 durch einen deutlich rückläufigen Endenergiebedarf geprägt; insgesamt verringert sich der Endenergiebedarf um etwa 24 %. Die Verringerung des Endenergiebedarfs ist auch die wesentliche Determinante für die rückläufigen Emissionen in den Endverbrauchssektoren, da sich die Struktur des Endenergieaufkommens gegenüber dem *Mit-Maßnahmen-Szenario* zwar erkennbar, aber letztlich nur noch wenig ändert. Im Grundsatz werden die Trends des *Mit-Maßnahmen-Szenarios* verstärkt (Rückgang des Anteils von Mineralölprodukten bis 2030 auf etwa 28 %, Zuwachs des Erdgasanteils auf

etwa 27 %, Erhöhung des direkten Anteils erneuerbarer Energien auf fast 17%). Eine deutliche Änderung ergibt sich nur für den Stromverbrauch, hier ergibt sich von 2005 bis 2030 ein leichter Anstieg des Anteils am gesamten Endenergieaufkommen um einen Prozentpunkt, absolut kommt es bis 2030 zu einem Rückgang des Stromverbrauchs in den Endenergiesektoren um etwa 21 % (dies entspricht einer Senkung des Endverbrauchs von knapp 110 TWh). Der direkte und indirekte Anteil der erneuerbaren Energien am gesamten Endenergieaufkommen in Anlehnung an die Konventionen der Erneuerbare-Energien-Richtlinie erreicht im Jahr 2020 einen Wert von 18 % und für 2030 rund 25 %

Der stärkste Verbrauchsrückgang ergibt sich in diesem Szenario für den GHD-Sektor, im Jahr 2030 liegt hier der Endenergiebedarf um etwa 51 % unter dem Niveau von 2005. Erhebliche Energieeinsparungen werden auch im Verkehrssektor umgesetzt, hier wird eine Energieeinsparung von ca. 24 % für den nationalen Verkehr und 25 % für den internationalen Luftverkehr erreicht. Ein wesentlicher (prozentualer) Minderungsbeitrag wird für die privaten Haushalte erwartet, im Projektionszeitraum sinkt der Endenergiebedarf hier um 46 %. Für die Industrie verbleibt auch in diesem Szenario ein erheblicher Zuwachs des Energieverbrauchs um rund 10 %.

Das Nettostromaufkommen im *Mit-Maßnahmen-Szenario* nimmt in der Periode 2005 bis 2030 um etwa 5 % zu, die Nettostromerzeugung steigt vor dem Hintergrund der als wegfallend angenommenen Nettostromexporte aus Deutschland nur um rund 3 %, d.h. um etwa 20 Milliarden Kilowattstunden (= 20 Terawattstunden – TWh) auf fast 600 TWh. Die Struktur des Nettostromaufkommens ist vor allem durch den politisch determinierten Rückgang der Kernenergie sowie durch einen deutlich erkennbaren Rückgang der Kohleverstromung gekennzeichnet. Im Jahr 2020 repräsentieren Kernkraftwerke einen Anteil von 11 % (2005 betrug dieser Anteil 27 %), bis 2030 geht dieser Wert auf Null zurück. Steinkohlekraftwerke tragen im Jahr 2030 mit etwa 17 % (2005: 22 %), Braunkohlekraftwerke mit rund 16 % (2005: 25 %) zum gesamten Nettostromaufkommen bei. Die Gasverstromung nimmt deutlich zu und erbringt im Jahr 2030 einen Anteil von ca. 24 % (2005: 12 %). Der Anteil der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien steigt von etwa 10 % im Jahr 2005 auf rund 36 % im Jahr 2030, wobei hier die Windenergie etwa die Hälfte des Nettostromaufkommens aus erneuerbaren Energien abdeckt.

Im *Strukturwandel-Szenario* ist das Stromaufkommen zunächst durch eine signifikant rückläufige Stromnachfrage gekennzeichnet. Von 2005 bis 2030 sinkt die Nettostromerzeugung um rund 120 TWh auf knapp 459 TWh (davon entfallen etwa 9 TWh auf als wegfallend angenommene Stromexporte). Der stark steigende Anteil erneuerbarer Energien (über 71 % im Jahr 2030) führt zu einer Verdrängung existierender Kraftwerkskapazitäten aus der Merit Order und macht eine Reihe von Neuinvestitionen überflüssig. So verbleibt im Jahr 2030 nur noch ein Aufkommensanteil von 4 % für die Braunkohleverstromung und von knapp 3 % für die Steinkohlenverstromung. Trotz eines erheblichen Bedarfs an Kraftwerkskapazitäten für den flexiblen Betrieb durch den stark ansteigenden Anteil fluktuierender Stromeinspeisungen steigt der Anteil der Erd-

gasverstromung nur um etwa zwei Prozentpunkte auf etwa 14 %. Absolut sinkt die Stromerzeugung auf Basis Erdgas von 2005 bis 2030 jedoch um rund 7 %.

Aus dem Endenergiebedarf, dem Brennstoffeinsatz für die Stromerzeugung sowie dem Verbrauch in den anderen Umwandlungsbereichen und dem nichtenergetischen Verbrauch von Energierohstoffen ergibt sich der Primärenergiebedarf.

Im *Mit-Maßnahmen-Szenario* geht der Primärenergiebedarf von 2005 bis 2030 um 0,6 % zurück. Hinsichtlich der Struktur des Primärenergieaufkommens ergeben sich jedoch zwei unterschiedliche Trends. Die Einsätze von Kernenergie, Braun- und Steinkohle, Mineralöl und Erdgas gehen zurück, während das Aufkommen der erneuerbaren Energien zunimmt. Der Einsatz von erneuerbaren Energien steigt im Zeitraum 2005 bis 2030 etwa um den Faktor 3,7. Die wichtigsten Beiträge entfallen hier auf Biomasse (im Jahr 2030 ca. 16 % des Primärenergieaufkommens) sowie Wind (3 %). Der Einsatz von Steinkohle geht von 2005 bis 2030 um etwa 13 %, der Verbrauch von Mineralöl um ca. 10 %, der Bedarf an Braunkohle um 34 % sowie der Beitrag der Kernenergie (ausstiegsbedingt) um 100 % zurück. Trotzdem bleibt Mineralöl im Jahr 2030 mit 32 % immer noch der wichtigste Primärenergieträger, gefolgt von Erdgas (27 %). Der Anteil der erneuerbaren Energien am Primärenergieaufkommen liegt im Jahr 2030 mit ca. 21 % über dem Anteil von Steinkohle (11 %) und Braunkohle (7 %).

Für den Primärenergiebedarf im *Strukturwandel-Szenario* ist die Periode 2005 bis 2030 zunächst durch einen deutlichen Rückgang (ca. 23 %) geprägt. Neben dieser Reduzierung des gesamten Primärenergiebedarfs ist die Struktur des Primärenergieaufkommens durch drei unterschiedliche Trends geprägt: einen vergleichsweise leichten Rückgang des Erdgasverbrauchs auf einen Wert von rund 11 % unter dem Niveau von 2005, einen massiven Rückgang des Mineralöl-, Kohlen- und Kernenergieeinsatzes sowie einen deutlich stärkeren Anstieg des Primärenergiebeitrags der erneuerbaren Energien. Die erneuerbaren Energien werden im Jahr 2030 mit einem Aufkommensanteil von 35 % die wichtigste Energieträgergruppe. Gleichwohl bleiben Mineralöl und Erdgas mit Aufkommensanteilen von ca. 30 % bzw. 26 % von erheblicher Bedeutung für das Primärenergieaufkommen, wenn auch die absoluten Beiträge um 36 % bzw. 11 % zurückgehen. Der Beitrag von Steinkohle zum gesamten Primärenergieaufkommen liegt im Jahr 2030 bei etwa 6 %, der Beitrag von Braunkohle geht bis 2030 auf etwa 2 % und der von Kernenergie auf Null zurück.

### **Emissionsentwicklung**

Die Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen ergibt sich einerseits aus den energiebedingten Treibhausgasemissionen und andererseits aus den Treibhausgasemissionen aus Industrieprozessen, der Produktverwendung, der Landwirtschaft und der Abfallwirtschaft.

Die *energiebedingten Treibhausgasemissionen* werden wesentlich bestimmt durch die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger in den Energiesektoren, den Endverbrauchssektoren Industrie, Haushalte, Verkehr, Gewerbe, Handel, Dienst-

leistungen sowie die flüchtigen CH<sub>4</sub>-Emissionen aus dem Kohlenbergbau sowie der Öl- und Gaswirtschaft.

Im *Mit-Maßnahmen-Szenario* sinken die Treibhausgasemissionen aus der Verbrennung im Zeitraum 2005 bis 2030 um 136 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu., dies entspricht einer Minderung von etwa 17 %. Etwa ein Drittel (33 %) dieser Emissionsminderung wird dabei von den Endverbrauchssektoren erbracht, wobei erheblichen Minderungen in den Sektoren Haushalte, GHD und Verkehr (etwa 80 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu.) eine leichte Emissionserhöhung im Bereich der Industrie (ca. 3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu.) gegenübersteht. Der gesamte Beitrag der Energiesektoren (ohne Industriekraftwerke) zur Emissionsminderung bei den Treibhausgasemissionen aus der Verbrennung beträgt für den genannten Zeitraum ca. 40 %. Die CH<sub>4</sub>-Emissionen aus dem Kohlenbergbau und der Öl- und Gaswirtschaft gehen im Mit-Maßnahmen-Szenario von 2005 bis 2030 um etwa 55 % zurück. Diese Entwicklung resultiert vor allem aus der Beendigung des deutschen Steinkohlenbergbaus in Deutschland.

Insgesamt ergibt sich für die energiebedingten Treibhausgasemissionen (verbrennungsbedingte Emissionen und flüchtige Emissionen der Energiesektoren) im Mit-Maßnahmen-Szenario im Zeitraum 2005 bis 2020 eine Reduktion von 143 Mt CO<sub>2</sub>-Äqu. bzw. 17 %.

Die Entwicklung der energiebedingten Treibhausgasemissionen im *Strukturwandel-Szenario* ist wiederum durch den Verlauf der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Verbrennungsprozessen geprägt. Insgesamt ergibt sich für diesen Zeitraum eine Minderung der Treibhausgasemissionen aus der Verbrennung von 441 Mt CO<sub>2</sub>-Äqu., dies entspricht einer Minderung um 55 %. Der Anteil der Endverbrauchssektoren (v.a. im Bereich der Gebäude und des Verkehrs) an der gesamten Emissionsminderung beläuft sich auf etwa 43 %, entsprechend tragen die Emissionsminderungen in der Energiewirtschaft bis zum Jahr 2020 mit etwa 57 % zur gesamten Minderung bei.

Für die energiebedingten Treibhausgasemissionen insgesamt ergibt sich im Strukturwandel-Szenario ein Rückgang um 450 Mt CO<sub>2</sub>-Äqu. bzw. 55 %.

Die Entwicklung der Treibhausgasemissionen aus Industrieprozessen wird für Deutschland vor allem durch die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Stahl- und Zementproduktion sowie der N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der chemischen Industrie geprägt. Für diese Quellbereiche wird in den Szenarien keine unterschiedliche Entwicklung unterstellt, so dass sich die Unterschiede zwischen den Szenarien nur aus der Emissionsentwicklung der industriellen Prozesse ergeben, für die eine Abhängigkeit von der energiewirtschaftlichen Entwicklung besteht (v.a. in Raffinerien) bzw. für die andere Projektionen ausgewertet wurden (dies betrifft die Emissionen der synthetischen Treibhausgase).

Neben den prozessbedingten CO<sub>2</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen spielen auch die HFKW-, FKW- und SF<sub>6</sub>-Emissionen aus Industrieprozessen und der Produktverwendung eine signifikante Rolle. Während im Mit-Maßnahmen-Szenario hier nur eine Stabilisierung der Emissionen auf dem Niveau von 2005 erreicht werden kann, bewirken die zusätzli-

chen Maßnahmen im Strukturwandel-Szenario einen Rückgang dieser Emissionen um ca. 26 %.

Insgesamt sinken die Treibhausgasemissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung im *Mit-Maßnahmen-Szenario* um knapp 17 % (etwa 18 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu.). Im *Strukturwandel-Szenario* beträgt der Rückgang von 2005 bis 2030 22,5% (etwa 24 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu.).

Für die Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft ergibt sich vor allem aus der strukturellen Entwicklung des Sektors (Tierbestände etc.) in der Periode 2005 bis 2020 eine Emissionsminderung in der Größenordnung von knapp 8 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu., dies entspricht einem Rückgang von etwa 13 %, die zwischen dem Mit-Maßnahmen- und dem Strukturwandel-Szenario nicht weiter variiert wurden.

Ein erheblicher Beitrag zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen entsteht dagegen aus den Entwicklungen in der *Abfallwirtschaft*. Die Entwicklung der CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen aus diesem Quellbereich ist – mit einem mehrjährigen Nachlauf – vor allem durch die ergriffenen abfallwirtschaftlichen Maßnahmen bestimmt, die ab 2005 in einem weitgehenden Verbot der Deponierung organischer Substanzen resultierten. Entsprechend gehen die Treibhausgasemissionen aus der Abfallwirtschaft im Zeitraum 2005 bis 2030 um etwa 9 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. bzw. rund 63 % zurück. Durch die weitgehenden, bereits ergriffenen Maßnahmen wird in diesem Bereich keine weitere Differenzierung nach Mit-Maßnahmen- und Strukturwandel-Szenario vorgenommen.

Hinzuweisen ist jedoch auch darauf, dass die beschriebenen Emissionstrends die Entwicklungen im *internationalen Flugverkehr* (und in geringerem Umfang auch der Hochseeschifffahrt) ausklammern. Insbesondere die sehr dynamische Entwicklung im internationalen Luftverkehr führt dazu, dass die Treibhausgasemissionen des internationalen Verkehrs im Mit-Maßnahmen-Szenario von 2005 bis 2030 um 17 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. wachsen, dies entspricht einem Zuwachs von 47 %. Gleichzeitig zeigt die Szenarienanalyse aber auch, dass durch entsprechende Maßnahmen die Emissionen aus dem internationalen Luftverkehr im Strukturwandel-Szenario erheblich gesenkt werden können, so dass sich hier für den internationalen Verkehr eine Minderung von 5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. (d.h. um knapp 18 %) ergibt.

Für die *gesamten Treibhausgasemissionen* (ohne Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft) ergibt sich im *Mit-Maßnahmen-Szenario* für den Zeitraum 2005 bis 2030 eine Rückführung um 178 Mio. CO<sub>2</sub>-Äqu. bzw. 17,8 %. Im Vergleich zu den im Rahmen des Kyoto-Protokolls festgelegten Basisniveaus entspricht dies bis 2020 einer Minderung um etwa 30 %, für das Jahr 2030 ergibt sich eine Emissionsreduktion von 33 %.

Für das *Strukturwandel-Szenario* beträgt die Emissionsreduktion von 2005 bis 2030 etwa 49 %, im Vergleich zu den Basisjahren des Kyoto-Protokolls entspricht dieser Emissionspfad einer Emissionsminderung von 43 % bis 2020 und 58 % bis 2030.

Tabelle Z- 2      Entwicklung der Treibhausgasemissionen nach Sektoren,  
2000-2030

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Mio. t CO <sub>2</sub> -Äqu.							
<b>Mit-Maßnahmen-Szenario</b>							
Energiesektoren	351,3	366,1	344,5	352,7	299,6	315,8	307,2
Industrie	99,2	104,6	99,5	100,2	101,3	105,1	107,7
GHD	54,6	54,2	50,9	47,2	42,8	37,8	32,0
Haushalte	118,9	116,2	114,5	108,6	102,1	95,0	87,0
Verkehr	184,3	165,5	166,3	167,0	157,7	148,9	136,6
Flüchtige Emissionen aus Energiesektoren	19,8	12,7	11,5	9,3	6,7	6,3	5,8
Industrieprozesse	101	106	100	90	89	89	88
Produktverwendung	1	1	1	1	1	1	1
Landwirtschaft	67	64	60	59	58	56	55
Abfallwirtschaft	22	14	10	8	7	6	5
<b>Gesamt</b>	<b>1.019,5</b>	<b>1.004,0</b>	<b>957,9</b>	<b>943,1</b>	<b>864,2</b>	<b>860,8</b>	<b>825,7</b>
ggü. 2005	1,5%	-	-4,6%	-6,1%	-13,9%	-14,3%	-17,8%
ggü. 1990	-17,0%	-18,2%	-22,0%	-23,2%	-29,6%	-29,9%	-32,7%
ggü. Basisjahr <sup>a</sup>	-17,3%	-18,5%	-22,3%	-23,5%	-29,9%	-30,2%	-33,0%
<i>Nachr.:</i>	-	-	-	-	-	-	-
<i>Internat. ziviler Luftverkehr und Hochseeschifffahrt</i>	24,8	29,3	32,8	36,3	39,6	42,9	46,0
<b>Strukturwandel-Szenario</b>							
Energiesektoren	351,3	366,1	328,3	292,2	204,8	168,6	116,7
Industrie	99,2	104,6	96,6	98,9	101,3	104,8	97,6
GHD	54,6	54,2	50,3	41,2	31,0	21,0	12,5
Haushalte	118,9	116,2	113,6	99,7	78,5	57,4	36,5
Verkehr	184,3	165,5	156,2	146,4	128,5	115,3	102,4
Flüchtige Emissionen aus Energiesektoren	19,8	12,7	11,4	8,9	5,6	4,5	3,4
Industrieprozesse	101	106	98	87	84	83	82
Produktverwendung	1	1	1	1	1	1	1
Landwirtschaft	67	64	60	59	58	56	55
Abfallwirtschaft	22	14	10	8	7	6	5
<b>Gesamt</b>	<b>1.019,5</b>	<b>1.004,0</b>	<b>925,5</b>	<b>841,9</b>	<b>698,7</b>	<b>618,1</b>	<b>512,8</b>
ggü. 2005	1,5%	-	-7,8%	-16,1%	-30,4%	-38,4%	-48,9%
ggü. 1990	-17,0%	-18,2%	-24,6%	-31,4%	-43,1%	-49,7%	-58,2%
ggü. Basisjahr <sup>a</sup>	-17,3%	-18,5%	-24,9%	-31,7%	-43,3%	-49,8%	-58,4%
<i>Nachr.:</i>	-	-	-	-	-	-	-
<i>Internat. ziviler Luftverkehr und Hochseeschifffahrt</i>	24,8	29,3	31,2	20,2	21,5	22,8	24,0
Anmerkung: <sup>a</sup> das Basisjahr ist 1990 für Kohlendioxid, Methan und Lachgas sowie 1995 für HFKW, FKW und Schwefelhexafluorid, als Basisemission wurde der in FCCC/KP/CMP/2008/9/Rev.1 festgelegte Wert verwendet							

Quellen: Berechnungen Öko-Institut, Forschungszentrum Jülich, Fraunhofer ISI, DIW Berlin und Dr. Ziesing

Mit einer *Sensitivitätsanalyse für die Auswirkungen der internationalen Wirtschaftskrise* in den Jahren 2008/2009 wurde die Bandbreite der Auswirkungen auf die Niveaus der Treibhausgasemissionen für den Zeitraum bis 2030 ermittelt.

Für das Mit-Maßnahmen-Szenario könnten danach die Emissionen im Jahr 2010 um knapp 50 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. niedriger ausfallen als in den Szenarienrechnungen ermittelt. Für den Zeithorizont bis 2020 ergeben sich Minderemissionen von 22 bis 33 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu., für 2030 ein um Null bis 21 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. vermindertes Emissionsniveau.

Bezogen auf das Basisjahr der Kyoto-Verpflichtungen resultieren daraus Emissionsminderungen von -26 % im Jahr 2010, -32 % bis -33 % im Jahr 2020 sowie -33 % bis -35 % in 2030.

Die Sensitivitätsanalyse für das Strukturwandel-Szenario ergibt für das Jahr 2010 ein um etwa 47 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. niedrigere Emissionswerte. Die Bandbreite der Minderemissionen für 2020 beträgt -17 bis -25 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu., für 2030 ergibt sich eine Bandbreite von Null bis -12 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. Im Vergleich zum Kyoto-Basisjahr resultiert für 2010 eine Emissionsminderung von -29 %, für 2020 ein Wert von etwa -45 % und für 2030 eine Reduktion der Emissionen um 58 % bis 59 %.

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

Den Emissionsentwicklungen liegen unterschiedliche klima- und energiepolitische Maßnahmen bzw. Zielsetzungen zu Grunde. Die größten Beiträge zur Emissionsminderung im *Mit-Maßnahmen-Szenario* erbringen dabei (jeweils ohne Berücksichtigung von Überlagerungen und indirekten Effekten) bis zum Jahr 2030:

- die Ausweitung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien mit über 36 Mio. CO<sub>2</sub>,
- die Revision des EU-Emissionshandelssystems mit über 15 Mio. t CO<sub>2</sub>,
- die Einbeziehung industrieller N<sub>2</sub>O-Emissionen in das EU-Emissionshandelssystem mit 40 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu.
- die Einführung der Beimischungspflicht für Kraftstoffe mit 11 Mio. t CO<sub>2</sub>,
- das KfW-CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramm mit 12 Mio. t CO<sub>2</sub>,
- die Einführung der TA Siedlungsabfall und der Deponieverordnung mit 9 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu.,
- die Einsparungen von Strom durch verschiedene Maßnahmen mit über 7 Mio. t CO<sub>2</sub>,
- die Energieeinsparverordnung mit 7 Mio. t CO<sub>2</sub>,
- die Reduktion des Flottenverbrauchs von PKW im Rahmen der europäischen CO<sub>2</sub>-Strategie für PKW mit 6 Mio. t CO<sub>2</sub>,
- die Marktanzreizprogramme Biomasse und Solar mit 5 Mio. t CO<sub>2</sub>.

Für das *Strukturwandel-Szenario* ergeben sich bis 2030 die größten zusätzlichen Minderungsbeiträge aus den folgenden Maßnahmen:

- die verstärkten Bemühungen zur Stromeinsparung mit insgesamt 103 Mio. CO<sub>2</sub>,
- der weitere Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien mit 75 Mio. t CO<sub>2</sub>,
- die Besteuerung von Flugkraftstoffen mit 24 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu.;
- die Änderung des Kraftwerkbetriebs mit 21 Mio. t CO<sub>2</sub>,

- die Ausdehnung der LKW-Maut auf alle Fernstraßen sowie auf kleinere Fahrzeugklassen ab 3,5 t zGG mit bis zu 11 Mio. t CO<sub>2</sub>,
- die Stärkung des Vollzugs der EnEV mit 9 Mio. t CO<sub>2</sub>,
- die Weiterführung und Verschärfung der Emissionsvorgaben im Rahmen der europäischen CO<sub>2</sub>-Strategie für Personenkraftwagen mit 9 Mio. t CO<sub>2</sub>;
- die Ausweitung der Nachrüstungsverpflichtungen für Gebäude mit 7 Mio. t CO<sub>2</sub>;
- die Mehrwertsteuererleichterungen für energetische Sanierungsmaßnahmen an Gebäuden mit 6 Mio. t CO<sub>2</sub>;
- die Förderung des Wärme-Contracting mit 6 Mio. t CO<sub>2</sub>;
- sowie die Einführung des WärmeEEG für größere Solar- und Biomasseanlagen mit 6 Mio. t CO<sub>2</sub>.

Die Sektoranalysen haben sehr klar gezeigt, dass für die notwendigen Investitionen in diesen Bereichen klaren Perspektiven, mit deutlichen Aussagen zu den zukünftigen Anreizsignalen und Rahmenseetzungen, eine besondere Bedeutung zukommt (langfristig angelegte Förderprogramme für den Gebäudesektor, stabile Rahmenbedingungen für erneuerbare Energien, stabile Förderung von Maßnahmen der Stromeinsparung, Regulierungsrahmen für die Stromwirtschaft, klare Innovationssignale für den Verkehrssektor, Entwicklung der Energie- und Verkehrsinfrastrukturen mit ausreichendem Vorlauf).

## Executive Summary

For the “Policy Scenarios V – towards a structural change; Greenhouse Gas Emissions Scenarios up to 2030” project, scenarios were created for the development of greenhouse gas emissions in Germany for the period between 2005 and 2030:

- A *With Measures Scenario (WMS)* in which the climate and energy policy measures in the different sectors which were introduced or significantly altered in the period from 2000 to 2007 (for some cases also in 2008) are taken into account, and which is accorded a high degree of prognostic relevance.
- A *Structural Change Scenario (SCS)* in which the effect of further climate and energy policy instruments are taken into account for the development of the scenario.

For the scenario analyses, a detailed assessment was made of the respective climate and energy policy measures with regard to their effect on the development of German greenhouse gas emissions. Here, the emissions of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), methane (CH<sub>4</sub>), nitrous oxide (N<sub>2</sub>O), hydrofluorocarbons (HFC), perfluorocarbons (PFC) and sulphur hexafluoride (SF<sub>6</sub>), the greenhouse gases covered by the Kyoto Protocol for the energy, industrial processes, product utilisation, agriculture and waste management source sectors, were taken into account. The source area of changes in land use and forestry was not taken into account in the analyses.

In order to develop the scenarios, different sector-specific model analyses were used which were compiled into a consistent and complete quantity structure for energy requirements and the greenhouse gas emissions. Specific studies are made in relation to space heating and hot water, electrical devices, industry, business, trade and services, transport, power generation from renewable energy sources and fossil power generation, and for the transient emissions in the energy sector, process-related CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions. For selected other source areas (HFC, PFC and SF<sub>6</sub> emissions and agriculture), the results of other studies were adopted or processed. For integration purposes and to determine emissions, a system integration module and an emission calculation model are used with the aid of which the detailed sector results are compressed into a quantity structure which is fully compatible with the German greenhouse gas inventories (in accordance with the inventory report for 2008).

### Framework data

A series of important frameworks plays a decisive role in developing the energy requirement and emission scenarios. This relates both to the demographic and economic framework data and the development of the energy prices. The table Z-1 shows the most important framework data for the projection in summary.

The scenario development is based on a demographic development in which the German resident population reaches its highest level between 2005 and 2010 and decreases slightly in the following years, so that for 2020, the number of inhabitants is

forecast as being 81,3 million. Even so, by 2030, the number of private households will increase slightly due to the sustained trend towards smaller households.

*Table Z- 3 Selected demographic and economic framework data, 2005-2030*

	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Demographic development						
Resident population (1,000 residents)	82,438	82,039	81,790	81,328	80,670	79,750
Private households (1,000 households)	39,178	40,108	40,629	41,185	41,461	41,701
Economic development						
Gross national product (billion €)	2,241	2,483	2,701	2,925	3,151	3,377
Gross value of the processing industry (billion €)	455	521	563	606	652	697
Employees in the processing industry (1,000 employees)	7,506	7,476	7,291	7,080	6,786	6,508
Employees in the service sector (1,000 employees)	27,265	27,866	27,534	27,101	26,356	25,634
Primary energy source prices						
Crude oil (€/t)	314	299	306	338	362	389
Hard coal (€/t coal equivalent)	65	78	79	85	90	95
CO <sub>2</sub> certification prices (€/EUA)	18	20	25	30	33	35
Note: All price and value added figures have been adjusted. The price basis is 2005.						

Sources: Federal Statistical Office, Bafa, EIA (2007), calculations made by DIW Berlin.

For the economic development, a relatively constant growth is assumed until 2030, so that the level of the German gross national product lies at around 51 % above that of the year 2005. The gross value in the processing industry increases at a slightly greater rate during the same period by 53 %. In relation to the employment structure, it is assumed that the level of employment in the processing industry will be around 13 % below that of 2005, corresponding to a decrease of almost one million employees. With regard to private and public services, a slight growth in the number of employees is anticipated by 2015 of around 270,000; however, by 2030, the number of employees will also decrease here to a level of around 6 % below the totals for 2005.

With regard to the development of the primary energy prices, the scenarios are based on a crude oil price of approx. €389 per tonne for 2030. This corresponds to a price increase of around 24% over 2005, taking inflation into account. For hard coal, a similar dynamic is assumed as for the development of crude oil prices in the long term. Imported hard coal is accordingly around 47 % more expensive in 2030 than in 2005 (this high rate of increase results above all from the exceptionally low price level during 2005, which occurred for different reasons; the anticipated price level for 2030 however is well in line with the connection between oil and coal price development over many years). With regard to the prices for EU emission allowances, the scenarios are based on a slight price increase from 2010, which in 2030 will reach a level of €35 per EUA.

## Development of energy requirement

The final energy requirement in Germany is calculated from the use of energy in households, business, trade, services, national transport and the use of fuel in industry (including the use of fuel for heat generation in combined heat and power stations for the processing industry, as well as mining). During the determination of the final energy requirement as part of the projection, the fuel requirement for international marine transport is taken into account for information purposes only.

The final energy consumption in Germany in the *With Measures Scenario* decreases by around 4 % from 2005 to 2030, but changes significantly in terms of its structure. The share of mineral oil products decreases by about 5 percentage points in the period between 2005 and 2030, and reaches approximately 35 % in 2020. The share of natural gas in the overall energy requirement remains more or less constant, while the share of electricity increases only minimally by 0.2 percentage points. In 2030, natural gas and electricity represent about 27 % and 20 % respectively of the overall final energy output. The (direct) share of renewable energy sources increases from 5 to 11 percent. On the basis of the conventions of the EU Renewables Directive, a direct and indirect share of renewable energy sources of 16 % in 2020 and 19 % in 2030 results. By contrast, the shares of hard and brown coal and district heating only change insignificantly, though with a (very slight) tendency to decrease.

The final energy requirement of private households and the BTS sector (Business, Trade, Services) decreases between 2005 and 2030 in the *With Measures Scenario*. This reduction totals 24% for households and 23 % for the BTS sector. The final energy requirement for national transport decreases again after a slight increase before 2015, and in 2030 lies at approximately 2 % below the level of 2005. By contrast, there is a significant increase for industry. Here, in 2030, the final energy consumption lies at 14 % above the level of 2005. A significant expansion of the energy requirement is calculated for international air traffic: from 2005 to 2030, the fuel and energy requirement increases in this area by around 81 %.

In the *Structural Change Scenario*, the forecast period of 2005 to 2030 is characterised by a significant reduction in final energy requirement. Overall, this requirement decreases by around 24 %. The reduction in final energy requirement is also the key determining factor for the decreasing emissions in the end consumption sectors, since although the structure of the final energy output changes visibly as compared to the *With Measures Scenario*, the change is only minor. Fundamentally, the trends of the *With Measures Scenario* are intensified (reduction in the share of mineral oil products to around 28 % by 2030, growth in the natural gas share to approximately 27 %, increase in the direct share of renewable energy sources to almost 17 %). A significant change results only for electricity consumption. Here, a slight increase in the share of overall energy output of 1 percentage point results from 2005 to 2030. In absolute terms, by 2030, there is a reduction in electricity consumption in the final energy sectors by around 21 % (this corresponds to a reduction in end consumption of about 110 TWh). The direct and indirect share of renewable energy sources for the entire

final energy output, based on the conventions of the EU Renewables Directive, reaches a level of 18 % in 2020, and around 25 % in 2030.

The strongest reduction in consumption results in this scenario for the BTS sector. In 2030, the final energy requirement here is approximately 51 % below the level of 2005. Significant energy savings are also made in the transport sector. Here, energy savings of around 24 % for national transport and 25% for international air traffic are achieved. A significant (percentage) contribution to a reduction in levels is anticipated for private households. During the forecast period, the final energy requirement is reduced in this sector by 46%. For industry, a significant growth in energy requirement of about 10% also remains in this scenario.

The net electricity output in the *With Measures Scenario* increases by around 5 % between 2005 and 2030. The net electricity generation increases by only around 3 %, i.e. by around 20 billion kilowatt hours (= 20 terawatt hours – TWh) to almost 600 TWh in the light of the fact that it is assumed that the net electricity exports from Germany will cease. The structure of the net electricity output is above all dominated by the politically determined reduction in nuclear energy and by a clearly recognisable reduction in coal-generated electricity. In 2020, nuclear power stations will represent a share of 11 % (in 2005, this share was 27%). By 2030, the share will be zero. In 2030, hard coal-fired power stations will contribute around 17 % (2005: 22 %), and brown coal-fired power stations will contribute around 16 % (2005: 25 %) to the overall net electricity output. Gas-generated electricity will increase significantly, and in 2030 will have a share of approx. 24 % (2005: 12 %). The share of power generated from renewable energy sources increases from around 10% in 2005 to around 36 % in 2030, wind energy covering about half the net electricity output from renewable energy sources.

In the *Structural Change Scenario*, the electricity output is initially characterised by a significant reduction in demand for electricity. From 2005 to 2030, the net level of electricity generated decreases by around 120 TWh to around 459 TWh (of which approximately 9 TWh are electricity exports which it is assumed will cease to exist). The significantly increasing share of renewable energy sources (over 71 % in 2030) leads to a supersession of existing power station capacities from the merit order, and makes a series of new investments redundant. Thus, in 2030, only a 4 % share of output remains for brown coal-generated electricity, and about 3 % for hard coal-generated electricity. Despite a significant demand for power station capacities for flexible operation due to the significantly increasing share of fluctuating electricity feeds, the share of natural gas-generated electricity increases by around two percentage points to approximately 14 %. In absolute terms, the electricity generation on the basis of natural gas decreases, however, by around 7 % in the period between 2005 and 2030.

The primary energy requirement results from the final energy requirement, the use of fuel for electricity generation and the consumption in the other conversion areas and non-energy consumption of energy resources.

In the *With Measures Scenario*, the primary energy requirement is reduced from 2005 to 2030 by 0.6 %. With regard to the structure of the primary energy output, two differ-

ent trends emerge, however. The use of nuclear energy, brown coal and hard coal, mineral oil and natural gas declines, while renewable energies output increases. The use of renewable energy sources increases by a factor of approximately 3.7 between 2005 and 2030. Here, the most important contributions come from biomass (approx. 16 % of the primary energy output in 2030) and wind (3 %). The use of hard coal declines between 2005 and 2030 by around 13 %, the use of mineral oil by around 10 %, the need for brown coal by 34 % and the contribution made by nuclear energy (assuming that it is abandoned) by 100 %. Even so, mineral oil still remains the most important primary energy source, at 32 % in 2030, followed by natural gas (27 %). The share of renewable energy sources in the primary energy output lies at approx. 21 % in 2030, above the share of hard coal (11 %) and brown coal (7 %).

For the primary energy requirement in the *Structural Change Scenario*, the period from 2005 to 2030 is initially characterised by a significant decrease (approx. 23 %). In addition to this reduction in the overall primary energy requirement, the structure of the primary energy output is dominated by three different trends: a comparatively slight decrease in natural gas consumption to a level of around 11 % below that of 2005, a huge decrease in the use of mineral oil, coal and nuclear-generated energy and a far greater increase in the contribution made by renewable energy sources to primary energy. The renewable energy sources will be the most important energy source group in 2030, with an output share of 35 %. Nonetheless, mineral oil and natural gas continue to be of key importance for the primary energy output, with output shares of approx. 30 % and 26 % respectively, even when the absolute contributions decrease by 36 % and 11 % respectively. The contribution made by hard coal to the overall primary energy output is approximately 6 % in 2030, while the contribution made by brown coal is reduced to around 2 % in 2030, with nuclear energy at zero.

### **Development of emissions**

The development of the total level of greenhouse gas emissions results on the one hand from the energy-related greenhouse gas emissions and on the other from the greenhouse gas emissions from industrial processes, product use, agriculture and waste management.

The *energy-related greenhouse gas emissions* are determined to a large extent by the CO<sub>2</sub> emissions from the combustion of fossil energy sources in the energy sectors, the final consumption sectors of industry, households, transport, business, trade, services and the transient CH<sub>4</sub> emissions from coal mining and from the oil and gas industry.

In the *With Measures Scenario*, the greenhouse gas emissions from combustion decrease from 2005 to 2030 by 136 million tonnes CO<sub>2</sub> eq. This corresponds to a reduction of around 17%. Around one-third (33%) of this reduction in emissions is achieved in the final consumption sectors, although significant reductions in the household, BTS and transport sectors (around 80 million tonnes CO<sub>2</sub> eq.) are offset by a slight increase in emissions in the industrial sector (approx. 3 million tonnes CO<sub>2</sub> eq.). The overall contribution of the energy sectors (without industrial power stations) to the reduction in

emissions with regard to greenhouse gas emissions from combustion is approx. 40 % for the given period. The CH<sub>4</sub> emissions from coal mining and the oil and gas industry decrease by around 55 % between 2005 and 2030 in the *With Measures Scenario*. This development results above all from the termination of hard coal mining in Germany.

Overall, a reduction of 143 Mt CO<sub>2</sub> eq., or 17 %, results for the energy-related greenhouse gas emissions (combustion-related emissions and transient emissions for the energy sectors) in the *With Measures Scenario* in the period from 2005 to 2020.

The development of the energy-related greenhouse gas emissions in the *Structural Change Scenario* is in turn dominated by the progression of CO<sub>2</sub> emissions from combustion processes. Overall, a reduction of 441 Mt CO<sub>2</sub> eq. in greenhouse gas emissions from combustion results for this period, corresponding to a reduction of 55 %. The share of final consumption sectors (above all in the area of buildings and transport) in the overall reduction in emissions amounts to approximately 43%. Accordingly, the emission reductions in the energy industry contribute to the overall reduction with a level of 57 % by 2020.

For the energy-related greenhouse gas emissions overall, a reduction of 450 Mt CO<sub>2</sub> eq., or 55 %, results in the *Structural Change Scenario*.

In Germany, the development of greenhouse gas emissions from industrial processes is dominated above all by the development of the CO<sub>2</sub> emissions from steel and cement production and the N<sub>2</sub>O emissions from the chemical industry. For these source areas, no different development is assumed in the scenarios, so that the differences between the scenarios result solely from the emissions development for the industrial processes which depend on developments in the energy industry (above all refineries), or for which other forecasts have been evaluated (this relates to the synthetic greenhouse gas emissions).

Alongside the process-related CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O emissions, HFC, PFC and SF<sub>6</sub> emissions from industrial processes and product use also play a significant role. While in the *With Measures Scenario* only a stabilisation of the emissions at the 2005 levels can be achieved, the additional measures in the *Structural Change Scenario* result in a reduction in these emissions of approx. 26 %.

Overall, the greenhouse gas emissions from industrial processes and product use decrease in the *With Measures Scenario* by around 17 % (approx. 18 million tonnes CO<sub>2</sub> eq.) In the *Structural Change Scenario*, the reduction between 2005 and 2030 totals 22.5 % (approx. 24 million tonnes CO<sub>2</sub> eq.).

For greenhouse gas emissions from agriculture, a reduction in emissions of around 8 million tonnes CO<sub>2</sub> eq. results above all due to the structural development of the sector (animal stocks, etc.) from 2005 to 2020. This corresponds to a reduction of approx. 13 % which were not varied further between the *With Measures Scenario* and the *Structural Change Scenario*.

A significant contribution to the development of the greenhouse gas emissions is made by developments in *waste management*, however. The development of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions from this source area is – with a time delay of several years – determined primarily by the waste management measures taken, which from 2005 led to a far-reaching ban on the disposal of organic substances. Accordingly, the greenhouse gas emissions from waste management decrease by around 9 Mt CO<sub>2</sub> eq., or around 63 %. Due to the far-reaching measures already taken, no further differentiation is made in this area between the With Measures Scenario and the Structural Change Scenario.

However, it should be noted that the emission trends described do not include developments in *international air traffic* (and to a lesser extent, marine shipping). In particular, the highly dynamic development in international air traffic results in a growth in greenhouse gas emissions for international transport in the With Measures Scenario of 17 Mt CO<sub>2</sub> eq. from 2005 to 2030, corresponding to a growth of 47 %. At the same time, the scenario analysis also shows that when appropriate measures are taken, the emissions from international air traffic can be significantly reduced in the Structural Change Scenario, so that a reduction of 5 million tonnes CO<sub>2</sub> eq. (i.e. around 18 %) results here for international traffic.

For the *overall greenhouse gas emissions* (without land use, changes to land use and forestry), in the *With Measures Scenario*, a reduction of 178 Mt CO<sub>2</sub> eq., or 17.8 %, results for the period 2005 to 2030. Compared to the basic levels specified in the Kyoto Protocol, this corresponds to a reduction of around 30 % by 2020, with a reduction in emissions of 33 % by 2030.

For the *Structural Change Scenario*, the reduction in emissions totals around 49 % from 2005 to 2030. Compared to the base years in the Kyoto Protocol, this emission path corresponds to a reduction in emissions of 43 % by 2020 and 58 % by 2030.

**Table Z- 4 Development of greenhouse gas emissions according to sector, 2000-2030**

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	Million t CO <sub>2</sub> eq.						
<b>With Measures Scenario</b>							
Energy sectors	351.3	366.1	344.5	352.7	299.6	315.8	307.2
Industry	99.2	104.6	99.5	100.2	101.3	105.1	107.7
BTS	54.6	54.2	50.9	47.2	42.8	37.8	32.0
Households	118.9	116.2	114.5	108.6	102.1	95.0	87.0
Transport	184.3	165.5	166.3	167.0	157.7	148.9	136.6
Transient emissions from energy sectors	19.8	12.7	11.5	9.3	6.7	6.3	5.8
Industrial processes	101	106	100	90	89	89	88
Product use	1	1	1	1	1	1	1
Agriculture	67	64	60	59	58	56	55
Waste management	22	14	10	8	7	6	5
Total	1,019.5	1,004.0	957.9	943.1	864.2	860.8	825.7
<i>compared to 2005</i>	1.5%	-	-4.6%	-6.1%	-13.9%	-14.3%	-17.8%
<i>compared to 1990</i>	-17.0%	-18.2%	-22.0%	-23.2%	-29.6%	-29.9%	-32.7%
<i>compared to base year<sup>a</sup></i>	-17.3%	-18.5%	-22.3%	-23.5%	-29.9%	-30.2%	-33.0%
<i>Recalculation:</i>							
<i>Internat. civic air traffic and marine shipping</i>	24.8	29.3	32.8	36.3	39.6	42.9	46.0
<b>Structural Change Scenario</b>							
Energy sectors	351.3	366.1	328.3	292.2	204.8	168.6	116.7
Industry	99.2	104.6	96.6	98.9	101.3	104.8	97.6
BTS	54.6	54.2	50.3	41.2	31.0	21.0	12.5
Households	118.9	116.2	113.6	99.7	78.5	57.4	36.5
Transport	184.3	165.5	156.2	146.4	128.5	115.3	102.4
Transient emissions from energy sectors	19.8	12.7	11.4	8.9	5.6	4.5	3.4
Industrial processes	101	106	98	87	84	83	82
Product use	1	1	1	1	1	1	1
Agriculture	67	64	60	59	58	56	55
Waste management	22	14	10	8	7	6	5
Total	1,019.5	1,004.0	925.5	841.9	698.7	618.1	512.8
<i>compared to 2005</i>	1.5%	-	-7.8%	-16.1%	-30.4%	-38.4%	-48.9%
<i>compared to 1990</i>	-17.0%	-18.2%	-24.6%	-31.4%	-43.1%	-49.7%	-58.2%
<i>compared to base year<sup>a</sup></i>	-17.3%	-18.5%	-24.9%	-31.7%	-43.3%	-49.8%	-58.4%
<i>Recalculation:</i>							
<i>Internat. civic air traffic and marine shipping</i>	24.8	29.3	31.2	20.2	21.5	22.8	24.0
Note: <sup>a</sup> The base year is 1990 for carbon dioxide, methane and nitrous oxide, and 1995 for HFCs, PFCs and sulphur hexafluoride; as base emission, the value specified in FCCC/KP/CMP/2008/9/Rev.1 has been used							

Sources: Calculations made by Öko-Institut, Forschungszentrum Jülich research centre, Fraunhofer ISI, DIW Berlin and Dr. Ziesing.

A sensitivity analysis for the effects of the international economic crisis during 2008/2009 was conducted in order to determine the extent of the effects on the level of greenhouse gas emissions for the period until 2030.

For the With Measures Scenario, emissions were accordingly determined as being around 50 million tonnes CO<sub>2</sub> eq. lower than in the scenario calculations in 2010. For the time frame, reduced emissions of 22 to 33 million tonnes CO<sub>2</sub> eq. result, with an emission level which is reduced by zero to 21 million tonnes CO<sub>2</sub> eq. for 2030. In rela-

tion to the base year of the Kyoto commitments, emission reductions result from this of -26 % in 2010, -32 % in 2020 and -33 % to -35 % in 2030.

The sensitivity analysis for the Structural Change Scenario gives emission levels for 2010 which are reduced by around 47 million tonnes CO<sub>2</sub> eq. The range of the reduced emissions for 2020 totals -17 to -25 million tonnes CO<sub>2</sub> eq. For 2030, a range of between zero and -12 million tonnes CO<sub>2</sub> eq. results. Compared to the Kyoto base year, a reduction in emissions of -29 % results for 2010, with -45 % for 2020 and a decrease in emissions of 58 % to 59 % for 2030.

### **The most influential climate and energy policy measures**

The developments in emissions levels are based on different climate and energy policy measures or targets. The greatest contributions to emission reduction by 2030 in the With Measures Scenario (without taking overlaps and indirect effects into account) are made by:

- The extension of electricity generation from renewable energy sources, at more than 36 million CO<sub>2</sub>,
- The revision of the EU emission trading scheme, at more than 15 million tonnes CO<sub>2</sub>,
- The incorporation of industrial N<sub>2</sub>O emissions into the EU emission trading scheme, at 40 million tonnes CO<sub>2</sub> eq.
- The introduction of mandatory admixing for fuels, at 11 million tonnes CO<sub>2</sub>
- The KfW CO<sub>2</sub> building refurbishment programme, at 12 million tonnes CO<sub>2</sub>
- The introduction of the Technical Instruction on Waste from Human Settlements and the Ordinance on Landfills, at 9 million tonnes CO<sub>2</sub> eq.
- Electricity savings resulting from various measures, at more than 7 million tonnes CO<sub>2</sub>
- The Energy Savings Act, at 7 million tonnes CO<sub>2</sub>
- A reduction in car fleet consumption as part of the European CO<sub>2</sub> strategy for cars, at 6 million tonnes CO<sub>2</sub>
- The market incentive programmes for biomass and solar power, at 5 million tonnes CO<sub>2</sub>

For the *Structural Change Scenario*, the greatest additional contributions to reduction by 2030 result from the following measures:

- Increased attempts to save electricity, totalling 103 million tonnes CO<sub>2</sub>
- The further extension of electricity generation from renewable energy sources, at 75 million tonnes CO<sub>2</sub>
- Taxation on aircraft fuels, at 24 million tonnes CO<sub>2</sub> eq.

- The change in power station operation, at 21 million tonnes CO<sub>2</sub>
- The extension of the toll on heavy goods vehicles on all trunk roads and on smaller vehicle classes from 3.5 tonnes permissible maximum weight, at up to 11 million tonnes CO<sub>2</sub>
- An increase in the implementation of the Energy Savings Act, at 9 million tonnes CO<sub>2</sub>
- The continuation and intensification of the emission specifications as part of the European CO<sub>2</sub> strategy for cars, at 9 million tonnes CO<sub>2</sub>
- The extension of mandatory retrofitting of buildings, at 7 million tonnes CO<sub>2</sub>
- VAT relief on energy refurbishment measures on buildings, at 6 million tonnes CO<sub>2</sub>
- The promotion of heat contracting, at 6 million tonnes CO<sub>2</sub>
- The introduction of the Renewable Energies Heat Act for larger solar and biomass plants, at 6 million tonnes CO<sub>2</sub>

The sector analyses have shown very clearly that clear prospects for the necessary investments in these fields, with clear statements regarding the future incentive signals and frameworks, play a crucial role (long-term support programmes for the building sector, stable framework conditions for renewable energy sources, stable promotion of measures for saving electricity, regulatory framework for the electricity industry, clear innovation signals for the transport sector, the development of energy and transport infrastructures with adequate preparation).

# 1 Einleitung und methodischer Ansatz

## 1.1 Einleitung

Im Auftrag des Umweltbundesamtes wurden von den Projektpartnern Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW Berlin), Forschungszentrum Jülich (Programmgruppe Systemtechnik und Technologische Entwicklung – STE), Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (FhG-ISI) und Öko-Institut unter dem Titel „Politiksznarien für den Klimaschutz“ in den Jahren 1996, 1999, 2004 und 2007 umfangreiche Analysen zur Entwicklung von Szenarien für die deutschen Treibhausgasemissionen vorgelegt (DIW et al 1996, 1999 und 2004, Öko-Institut et al 2007), 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 die deutschen Treibhausemissionen weitgehend vollständig erfassenden Szenarien 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 (z.B. des EU-Emissionshandelssystems) oder die signifikante Änderung des bestehenden Instrumentariums (Erneuerbare-Energien-Gesetz, Förderprogramm für Gebäudesanierung und Markteinführung erneuerbarer Energien) macht eine erneute Sichtung von Instrumentenwirkungen und deren Verdichtung zu Szenarien für Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen sinnvoll und notwendig.

Vor diesem Hintergrund beauftragte das Umweltbundesamt unter dem Titel „Politiksznarien für den Klimaschutz V“ das Konsortium der vier Institute mit der Erstellung neuer Treibhausgasprojektionen für Deutschland.

In der hier vorgelegten Studie werden Szenarien für den Zeitraum 2000 bis 2030 und Wirkungsschätzungen für die im Zeitraum 2000 bis Ende 2008 ergriffenen energie- und klimapolitischen Instrumente (Mit-Maßnahmen-Szenario) sowie für darüber hinaus gehende Vorgaben (Strukturwandel-Szenario) analysiert und deren Ergebnisse präsentiert. Erste Ergebnisse dieser Analysen (Öko-Institut et al 2009) bildeten die Grundlage für den deutschen Projektionsbericht 2009..

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) und das Strukturwandel-Szenario (SWS) in den verschiedenen Sektoren unterstellten Politiken und Maßnahmen beschrieben.

Das Kapitel 3.2 enthält die Einzelanalysen zu den Endverbrauchssektoren sowie zu den Umwandlungssektoren hinsichtlich der verbrennungsbedingten Treibhausgasemissionen. Im Kapitel 3.3 wird die Entwicklung des gesamten Endenergie- und des Primärenergieverbrauchs beschrieben, im Kapitel 3.4 wird die Ermittlung der gesamten energiebedingten Emissionen dokumentiert. Das Kapitel 3.5 dokumentiert die Analysen und Szenarien für Industrieprozesse sowie für die Land- und Abfallwirtschaft. Im Kapitel 3.6 werden die Emissionsentwicklungen für die beiden Szenarien sowie die Ergebnisse der Komponentenanalyse und eine Abschätzung für die Effekte der aktuellen Wirtschaftsentwicklung zusammenfassend dargestellt.

Der Anhang 1 enthält die Übersicht zur Klassifikation der Instrumententypen. Im Anhang 2 ist schließlich eine Reihe von zusätzlichen Hintergrunddaten für die beiden Szenarien zusammengestellt. Der Anhang 3 dokumentiert ausgewählte Sensitivitätsanalysen.

## 1.2 Methodischer Ansatz für die Emissionsprojektionen

Die Erstellung der Projektionen für die deutschen Treibhausgasemissionen bis 2030 erfolgt auf der Basis von Annahmen für

- Bevölkerungsentwicklung
- Wirtschafts- und Wirtschaftsstrukturentwicklung
- Energiepreisentwicklungen
- Politiken und Maßnahmen.

Hinsichtlich der Politiken und Maßnahmen werden zwei verschiedene Szenarien untersucht:

- Im Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) werden alle Maßnahmen berücksichtigt, die bis zum Jahr 2008 ergriffen worden sind. Der Vergleich dieser Maßnahmen erfolgt mit einer (hypothetischen) Entwicklung, die ohne diese Maßnahmen bzw. ohne die entsprechende Novellierung bereits bestehender Politiken und Maßnahmen eingetreten wäre. Dabei wurden diejenigen Maßnahmen berücksichtigt, die vor dem jeweils beschriebenen Wirkungsbeginn der vom MMS erfassten Maßnahmen wirksam waren.<sup>1</sup>
- Im Strukturwandel-Szenario (SWS) werden auch darüber hinausgehende, zusätzliche Maßnahmen berücksichtigt. Auch hier wird in den entsprechenden Beschreibungen bzw. Übersichtstabellen der Wirkungsbeginn explizit definiert. Die Wirkungsschätzung der Maßnahmen im SWS erfolgt im Vergleich zum Mit-Maßnahmen-Szenario.

Die Analyse und Bewertung der verschiedenen Maßnahmen, die Ermittlung der entsprechenden Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen sowie der notwendigen Hintergrundinformationen und –indikatoren 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.

1. Für die energiebedingten Treibhausgasemissionen aus Verbrennungsprozessen basieren die Analysen aus einem komplexen System verschiedener Modelle (Abbildung 1-1)
  - Für den Verkehrsbereich wird das ASTRA-Modell des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung (FhG-ISI) verwendet, die Modellierungsergebnisse wurden mit dem TREMOD-Modell des Umweltbundesamtes abgeglichen.

---

<sup>1</sup> Die Zurechnung der verschiedenen Maßnahmen ist in den einzelnen Sektoren jeweils gesondert festgelegt worden. Der Wirkungsbeginn der vom MMS erfassten Maßnahmen ist in den entsprechenden Übersichtstabellen explizit dokumentiert. Alle vor dem genannten Zeitpunkt wirksamen Politiken und Maßnahmen werden damit einem Ohne-Maßnahmen-Szenario (OMS) zugerechnet. Das OMS wurde zwar jeweils sektorspezifisch ermittelt, die einzelnen Sektoranalysen wurden jedoch nicht zu einem Gesamtszenario zusammengeführt.

- Für den Gebäudesektor (im Bereich der Wohn- und Nichtwohngebäude) wird das IKARUS-Raumwärmemodell der Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung am Institut für Energieforschung des Forschungszentrums Jülich (IEF-STE) genutzt.
- Ergänzende Analysen für den verbleibenden Brennstoff- und Strombedarf in den Sektoren Gewerbe, Handel, Dienstleistungen sowie Private Haushalte werden mit technologiebasierten Einzelmodellen von FhG-ISI durchgeführt.
- Die Analysen für den Strom- und Brennstoffbedarf des Verarbeitenden Gewerbes erfolgt mit dem Modell ISI-Industry des FhG-ISI.
- Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien wird mit dem Modell Power-ACE von FhG-ISI analysiert.
- Die Stromerzeugung auf Basis fossiler Energieträger (einschließlich Kraft-Wärme-Kopplung) wird mit dem ELIAS-Modell sowie dem gekoppelten Merit-Order-Modell (MOM) des Öko-Instituts durchgeführt.
- Die Integration des Mengengerüsts für den Energieverbrauch, die Ermittlung des Primärenergieverbrauchs sowie des Energieeinsatzes in den anderen Umwandlungssektoren erfolgt mit dem Energie-Umwandlungs-Sektor-Modell (EnUseM) von Öko-Institut und Dr. Ziesing.

Für die Modellierung des Energiesektors wird eine Reihe von Iterationsläufen notwendig:

- zur Ermittlung des Stromverbrauchs aus den Endverbrauchs- und Umwandlungsbereichen als Eingangsgröße für die Strommarktmodellierung, deren Ergebnisse über Strompreise, Energienachfragen für die Stromerzeugung etc. auf die Stromnachfrage aus den verschiedenen Sektoren zurückwirken;
- zum Abgleich der Wärmeerzeugung aus KWK-Anlagen in der öffentlichen, industriellen und Objektversorgung und dem Wärmebedarf in den Sektoren Industrie, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und private Haushalte.



gen im Emissionsmodell des Öko-Instituts mit den für das Nationale Treibhausgasinventar verwendeten Methoden ermittelt. Für die N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der Adipin- und Salpetersäureproduktion erfolgte eine gesonderte Modellabschätzung.

- Für die HFKW-, FKW- und SF<sub>6</sub>-Emissionen wurden vorliegende Projektionen aktualisiert und angepasst.
4. Für die Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft wurde eine von der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) erstellte Projektion übernommen.
  5. Für die Treibhausgasemissionen aus der Abfallwirtschaft wurde das für die Erstellung der Nationalen Treibhausgasinventare verwendete Modell des Öko-Instituts für die Projektion erweitert.

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.

## 2 Sektorübergreifende Rahmendaten und Maßnahmen

### 2.1 Demographische und gesamtwirtschaftliche Rahmendaten

Niveau und Struktur des Energieverbrauchs in Deutschland werden maßgeblich durch die Entwicklung der Bevölkerung, des Bruttoinlandsproduktes sowie der Energiepreise bestimmt. Die im Folgenden dargestellten Entwicklungen orientieren sich im Wesentlichen an vorliegenden Projektionen.

Das in den letzten Jahren – bis zum Ausbruch der aktuellen Finanzkrise - trotz hoher Energiepreise kräftige Wirtschaftswachstum hat Hoffnungen geweckt, dass sich die wirtschaftlichen Perspektiven Deutschlands nachhaltig verbessert haben könnten. Das würde voraussetzen, dass der Wachstumsschub in diesen Jahren hauptsächlich auf strukturelle Verbesserungen zurückzuführen war. Ob dies tatsächlich der Fall ist, oder ob es sich dabei nur um ein vorübergehendes Zwischenhoch gehandelt hat, wird erst nach Überwindung der aktuellen Finanzkrise deutlich werden.<sup>2</sup>

Hinsichtlich der Bevölkerungsentwicklung ist vor allem der Einfluss der Wanderungsbewegungen zu beachten

#### 2.1.1 Bevölkerung und Haushalte

Die im Folgenden dargestellten Annahmen zur Entwicklung der demografischen Rahmendaten basieren auf der Variante 1 – W2 der 11. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes aus dem Jahr 2006, die das Amt selbst als die obere Grenze der mittleren Bevölkerungsentwicklung betrachtet. In diesen Varianten wird eine Geburtenhäufigkeit von durchschnittlich 1,4 Kindern je Frau angenommen. Die Lebenserwartung von im Jahr 2050 Neugeborenen wird bei Jungen mit 83,5 und bei Mädchen mit 88 Jahren unterstellt. Die Nettozuwanderung wird mit jährlich 200.000 Personen angenommen.

Ausgehend von diesen Annahmen zur Bevölkerungsentwicklung wird die Entwicklung der Zahl und der Größenstruktur der privaten Haushalte abgeleitet. Dabei wird wiederum auf die Angaben des Statistischen Bundesamtes zurückgegriffen. Dessen Haushaltsvorausberechnung 2007 basiert auf der Bevölkerungsentwicklung nach Variante 1 – W1. Hier wurde die Variante „Trend“ berücksichtigt, bei der der Anteil kleinerer Haushalte an der Gesamtzahl der Haushalte weiter zunimmt und zwar stärker als aufgrund der zunehmenden Alterung der Bevölkerung ohnehin zu erwarten wäre.

Die Tabelle 2-1 zeigt die wesentlichen Annahmen zur Entwicklung der Wohnbevölkerung und der Haushalte.

Während im Projekt Politiksznarien IV (Öko-Institut et al. 2007) noch von einem leichten Anstieg der Bevölkerung bis 2010 ausgegangen worden ist, der erst danach in ei-

---

<sup>2</sup> Da diese Krise nach Festlegung der Rahmendaten eskalierte, konnte der daraus resultierende Einbruch der Wirtschaftsleistung in Deutschland im Rahmen der hier vorgestellten Szenarien nicht berücksichtigt werden.

nen Rückgang mündet, wird hier entsprechend den aktuellen Angaben des Statistischen Bundesamtes damit gerechnet, dass der Rückgang der Bevölkerung bereits eingesetzt hat und sich bis 2030 mehr oder weniger stark fortsetzt. Die Bevölkerungszahl geht danach von 2005 bis 2030 von 82,4 auf 79,8 Mill. Personen (Variante) zurück, das entspricht einem Rückgang um 2,6 Millionen Personen.

Eine wesentliche Determinante für den Energieverbrauch – insbesondere für die Raumwärmeerzeugung (bzw. die Bereitstellung der Energiedienstleistung „warmer bzw. klimatisierter Raum“) - bildet darüber hinaus die Zahl und die Größenstruktur der privaten Haushalte in Deutschland. Aufgrund der anhaltenden Tendenz zu Ein- und Zwei-Personen-Haushalten wird sich im Referenzfall die Zahl der privaten Haushalte über den gesamten Projektionszeitraum hinweg erhöhen, von 2005 bis 2030 um insgesamt 2,5 Millionen auf 41,7 Millionen. Der Anteil der Ein- und Zwei-Personen-Haushalte an der Zahl der Haushalte steigt von 2005 bis 2030 um 4,2 bzw. 3,8 %-Punkte auf 41,7 bzw. 37,7 %.

*Tabelle 2-1 Wohnbevölkerung und Haushalte in Deutschland*

		2000	2005	2010	2020	2030
Wohnbevölkerung <sup>1</sup>	1000 Personen	82260	82438	82039	81328	79750
Private Haushalte <sup>2</sup>	1000 Haushalte	38151	39178	40108	41185	41701
davon						
1-Personen-Haushalte	%	36,1	37,5	39,4	40,6	41,7
2-Personen-Haushalte	%	33,4	33,9	34,1	36,3	37,7
3-Personen-Haushalte	%	14,6	14,0	13,0	11,6	10,3
4-Personen-Haushalte	%	11,5	10,8	9,9	8,6	8,0
5+-Personen-Haushalte	%	4,4	3,9	3,5	2,9	2,3

<sup>1</sup> Jahresende. <sup>2</sup> Jahresdurchschnitt.

Quellen: StBA 2006, StBA 2007a, Berechnungen des DIW.

### 2.1.2 Wirtschaftswachstum und Struktur

Die deutsche Wirtschaft hatte im Jahr 2006 mit einer Wachstumsrate von 2,9 % wieder eine Dynamik erreicht, die zuletzt Ende der neunziger Jahre zu verzeichnen war. Diese Entwicklung konnte darauf hindeuten, dass die nicht zuletzt durch die Wiedervereinigung bedingte Anpassungskrise durch die Reformbemühungen der Politik und die Restrukturierungsbemühungen auf Unternehmensebene nun überwunden ist. Allerdings wurde der Aufschwung vor allem vom Export getragen, der im gleichen Jahr – stimuliert durch das anhaltend starke Wirtschaftswachstum in den USA, in einigen asiatischen Schwellenländern und in Osteuropa – real um mehr als 12 % zunahm. Damit dieses hohe Wachstum langfristig wieder erreicht und stabilisiert werden kann, müssen nach den zur Überwindung der aktuellen Wirtschaftskrise notwendigen Maßnahmen auch die Reformen (z.B. Fortsetzung der Haushaltskonsolidierung, Föderalismusreform, Verbesserung der Kinderbetreuung und des Bildungssystems) fortgesetzt werden. Hier wird unterstellt, dass trotz einer rückläufigen (und alternden) Bevölkerung das reale Bruttoinlandsprodukt von 2006 bis 2030 jährlich um durchschnittlich 1,6 % zu-

nimmt. Das Wirtschaftswachstum flacht allerdings im Zeitablauf ab, und zwar von 1,6 % (2010 bis 2020), und 1,4 % (2020 bis 2030). Diese Annahmen sind zwar für die unmittelbar bevorstehenden Jahre durch die – bei der Konzeption dieser Studie und der Festlegung der Rahmenparameter nicht vorhersehbare – Wirtschafts- und Finanzkrise als mit erheblicher Unsicherheit behaftet anzusehen, gleichwohl beschreiben sie einen in der langfristigen Perspektive weiterhin plausiblen Pfad der wirtschaftlichen Entwicklung.

Aus der Entwicklung des Bruttoinlandsprodukts in Deutschland von 1970 bis 2006 lässt sich für den Zeitraum bis 2020 eine Obergrenze des möglichen jährlichen Wachstums von real 2,2 % ableiten, angesichts des angenommenen künftigen Bevölkerungsrückgangs und der inzwischen eingetretenen Finanzkrise ist eine solche Entwicklung aber äußerst unwahrscheinlich und wird daher hier nicht betrachtet.

Auch ein geringeres Wachstum als in der Variante geringeres Wachstum unterstellt ist – wie z.B. die Entwicklung in Japan seit Anfang der neunziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts gezeigt hat – in reifen Industriestaaten nicht ausgeschlossen. Die erhöhte Wirtschaftsdynamik der letzten Jahre (bis zum Ausbruch der Finanzkrise) hat aber dagegen gesprochen, dass eine solche Entwicklung in Deutschland in absehbarer Zeit eintreten könnte. Eine entsprechende Variante wird daher hier ebenfalls nicht betrachtet.

Eine Übersicht über die Annahmen zum Wirtschaftswachstum gibt die Tabelle 2-2.

*Tabelle 2-2 Annahmen zum Wirtschaftswachstum für den Referenzfall und die Varianten*

	Istwerte			Projektion			Periodenmittel	
	2000	2005	2006	2010	2020	2030	2006/2020	2006/2030
Mrd Euro, real (Preisbasis 2005)	2178	2241	2305	2483	2925	3377		
2005 = 100	97	100	103	111	131	151		
Jährliche Veränderungen in %		0,6	2,9	1,9	1,6	1,4	1,7	1,6

Quelle: Berechnungen des DIW.

Es wird angenommen, dass die Produktivität nach 2010 stärker wächst als die Wertschöpfung, das setzt z.B. erhöhte Forschungsaufwendungen, erhebliche Anstrengungen zur Verbesserung des Bildungssystems und bei der Integration der Einwohner mit Migrationshintergrund voraus. Ohne deutliche Erfolge in diesen Bereichen wird das angenommene hohe Wirtschaftswachstum kaum zu erreichen sein.

In Hinblick auf den sektoralen Strukturwandel haben sich gegenüber den Annahmen in der Studie Politiksznarien IV (Öko-Institut et al 2007) keine neuen Erkenntnisse ergeben, die eine wesentliche Änderung der dort getroffenen Annahmen notwendig machen würden. Die Vorgaben zur relativen Wachstumsdynamik der Sektoren in Politiksznarien IV wurden daher hier weitgehend übernommen.

In den nachfolgenden Tabellen sind die wesentlichen Annahmen zur wirtschaftlichen Entwicklung in Deutschland zusammengestellt. Tabelle 2-3 zeigt die reale (inflationsbereinigte) Entwicklung der Wertschöpfung nach Wirtschaftsbereichen und des Bruttoin-

landsproduktes insgesamt (BIP). Im Jahr 2030 wird danach ein um etwa die Hälfte größeres BIP erzeugt werden als im Jahr 2005.

Tabelle 2-3 Wertschöpfung nach Wirtschaftszweigen

	2000	2005	2006	2010	2020	2030
	Mrd. Euro (reale Preise, Preisbasis 2005)					
Grundstückswesen; Vermietung; Unternehmensdienstl.	447,0	500,1	513,1	556,1	681,5	795,6
Verarbeitendes Gewerbe	431,8	455,0	481,5	520,7	606,4	696,7
Handel; Rep. v. Kraftfahrz. u. Gebrauchsg.	204,6	209,6	216,5	233,2	250,2	263,6
Gesundheits-, Veterinär- u. Sozialwesen	125,7	146,3	148,2	161,0	203,7	257,5
Öffentliche Verwaltung; Verteidigung; Sozialvers.	124,4	121,5	121,4	130,0	134,0	140,9
Verkehr u. Nachrichtenübermittlung	103,7	115,6	121,0	131,4	174,1	220,4
Sonstige						
Kredit- u. Versicherungsgewerbe	116,3	101,3	101,5	107,9	129,5	156,0
Baugewerbe	100,8	79,9	84,1	89,2	99,4	111,0
Sonstige öffentliche u. private Dienstleister	98,6	96,3	96,8	103,7	129,1	156,8
Erziehung u. Unterricht	93,8	91,6	90,0	96,3	102,2	106,6
Energie u. Wasserversorgung	40,1	47,9	48,3	52,6	56,5	60,6
Gastgewerbe	33,9	32,8	33,4	35,8	39,8	44,0
Land und Forstwirtschaft; Fischerei	18,1	17,8	17,2	18,4	20,2	20,2
Bergbau, Gewinnung v. Steinen u. Erden	6,5	4,0	3,8	4,0	2,5	2,5
Bruttoinlandsprodukt	2178,1	2241,0	2305,3	2483,0	2924,5	3377,3
	2005 = 100					
Grundstückswesen; Vermietung; Unternehmensdienstl.	89	100	103	111	136	159
Verarbeitendes Gewerbe	95	100	106	114	133	153
Handel; Rep. v. Kraftfahrz. u. Gebrauchsg.	98	100	103	111	119	126
Gesundheits-, Veterinär- u. Sozialwesen	86	100	101	110	139	176
Öffentliche Verwaltung; Verteidigung; Sozialvers.	102	100	100	107	110	116
Verkehr u. Nachrichtenübermittlung	90	100	105	114	151	191
Sonstige						
Kredit- u. Versicherungsgewerbe	115	100	100	107	128	154
Baugewerbe	126	100	105	112	124	139
Sonstige öffentliche u. private Dienstleister	102	100	101	108	134	163
Erziehung u. Unterricht	103	100	98	105	112	116
Energie u. Wasserversorgung	84	100	101	110	118	126
Gastgewerbe	103	100	102	109	121	134
Land und Forstwirtschaft; Fischerei	102	100	97	104	113	113
Bergbau, Gewinnung v. Steinen u. Erden	162	100	95	100	63	63
Bruttoinlandsprodukt	97	100	103	111	131	151

Reale Werte 2005 auf Basis der vom Statistischen Bundesamt mit Kettenindices ermittelten realen Werte.

Quellen: StBA 2007b, Berechnungen des DIW.

Die Struktur der Wertschöpfung (Vgl. Tabelle 2-4) verschiebt sich bis 2030 nur leicht. Deutlich steigende Anteile weisen die Sektoren „Verkehr und Nachrichtenübermittlung“ sowie „Gesundheit, Veterinär- und Sozialwesen“ auf. Ihre Anteile steigen von 2005 bis 2030 zusammengenommen von knapp 12 auf 14 %. Auch die Wertschöpfungsanteile des Sektors „Grundstückswesen, Vermietung, Unternehmensdienstleistungen“ steigen leicht auf 23 % im Jahr 2030. Dieser Sektor behauptet damit seinen geringen Vorsprung vor dem verarbeitenden Gewerbe, dessen Anteil an der Wertschöpfung in etwa stagniert. Die übrigen Bereiche fallen leicht zurück.

Tabelle 2-4 Struktur der realen Wertschöpfung nach Wirtschaftszweigen

	2000	2005	2006	2010	2020	2030
	%					
Grundstückswesen; Vermietung; Unternehmensdienstl.	20,5	22,3	22,3	22,4	23,3	23,6
Verarbeitendes Gewerbe	19,8	20,3	20,9	21,0	20,7	20,6
Handel; Rep. v. Kraftfahrz. u. Gebrauchsg.	9,4	9,4	9,4	9,4	8,6	7,8
Gesundheits-, Veterinär- u. Sozialwesen	5,8	6,5	6,4	6,5	7,0	7,6
Öffentliche Verwaltung; Verteidigung; Sozialvers.	5,7	5,4	5,3	5,2	4,6	4,2
Verkehr u. Nachrichtenübermittlung	4,8	5,2	5,3	5,3	6,0	6,5
Sonstige	34,0	30,9	30,5	30,2	29,9	29,7

Quellen: StBA 2007b, Berechnungen des DIW.

In der Tabelle 2-5 sind die Annahmen zur Entwicklung der Industrieproduktion zusammengestellt. Danach wird sich die Gesamt-Wertschöpfung der Industrie von 2005 bis 2030 um ca. 52 % erhöhen, wobei besonders hohe Wachstumsraten für NE-Metalle, Metallbearbeitung sowie den Maschinen- und Fahrzeugbau erwartet werden. Ein etwa durchschnittliches Wachstum wird für die Grundstoffchemie, Gummi- und Kunststoffwarenherstellung sowie die sonstigen Wirtschaftszweige erwartet. Unterdurchschnittlich wachsen die Nahrungs- und Genussmittelindustrie, das Papiergewerbe, das Glasgewerbe und die Herstellung von Keramik, die Verarbeitung von Steinen und Erden sowie die Metallerzeugung.

Tabelle 2-5 Bruttowertschöpfung der Industrie (Verarbeitendes Gewerbe und Übriger Bergbau)

	2000	2005	2010	2020	2030
	Mrd. Euro (reale Preise, Preisbasis 2005)				
Gew. Steine und Erden, sonstiger Bergbau <sup>1</sup>	2,6	2,2	2,9	3,0	3,2
Ernährungsgewerbe und Tabakverarbeitung	39,9	37,0	41,4	44,2	46,7
Papiergewerbe	9,4	10,0	10,0	10,2	9,9
Grundstoffchemie <sup>2</sup>	19,2	20,1	23,3	26,2	29,0
Sonstige chemische Industrie <sup>2</sup>	20,3	27,3	27,1	31,9	37,3
H. v. Gummi- und Kunststoffwaren	19,4	21,8	24,4	28,2	32,0
Glasgewerbe, H.v.Keramik <sup>2</sup>	5,9	5,8	6,2	6,2	6,3
Verarbeitung v. Steinen u.Erden <sup>2</sup>	8,9	7,7	7,3	6,7	6,3
Metallerzeugung <sup>2</sup>	8,2	9,9	7,4	7,2	7,3
NE-Metalle, Giessereien <sup>2</sup>	10,5	10,1	13,0	14,2	15,4
Metallbearbeitung <sup>2</sup>	45,1	41,5	55,0	64,8	74,5
Maschinenbau	67,8	69,2	85,9	110,8	135,6
Fahrzeugbau	59,7	74,3	86,0	101,4	118,2
Sonstige Industriezweige	120,9	122,3	132,9	153,7	177,4
Summe Industrie	437,9	459,0	523,0	608,7	699,0
	2005 = 100				
Gew. Steine und Erden, sonstiger Bergbau <sup>1</sup>	118	100	132	138	144
Ernährungsgewerbe und Tabakverarbeitung	108	100	112	120	126
Papiergewerbe	95	100	100	102	99
Grundstoffchemie <sup>2</sup>	96	100	116	130	144
Sonstige chemische Industrie <sup>2</sup>	75	100	99	117	137
H. v. Gummi- und Kunststoffwaren	89	100	112	129	147
Glasgewerbe, H.v.Keramik <sup>2</sup>	101	100	106	107	109
Verarbeitung v. Steinen u.Erden <sup>2</sup>	115	100	96	88	82
Metallerzeugung <sup>2</sup>	83	100	75	73	74
NE-Metalle, Giessereien <sup>2</sup>	104	100	128	141	152
Metallbearbeitung <sup>2</sup>	109	100	133	156	180
Maschinenbau	98	100	124	160	196
Fahrzeugbau	80	100	116	137	159
Sonstige Industriezweige	99	100	109	126	145
Summe Industrie	95	100	114	133	152

<sup>1</sup> Einschl. Eisenerzebergbau. <sup>2</sup> Aufteilung der realen Wertschöpfung der jeweils übergeordneten Industriegruppe in 2000 und 2005 nach den nominalen Bruttowertschöpfungsanteilen der Teilsektoren nach der Kostenstrukturstatistik des Statistischen Bundesamtes.

Quellen: StBA 2007b, StBA 2007c, Berechnungen des DIW.

Für die Entwicklung des Energieverbrauchs (und der Emissionen) in der Industrie, vor allem aber im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen stellen die Erwerbstätigenzahlen eine wichtige Determinante dar. Die Tabelle 2-6 zeigt die Zahl der Erwerbstätigen nach Wirtschaftszweigen und die Tabelle 2-7 die Daten zum GHD-Sektor.

Tabelle 2-6 Erwerbstätige nach Wirtschaftszweigen

	2000	2005	2010	2020	2030
	1000 Personen				
Grundstückswesen; Vermietung; Unternehmensdienstl.	4.525	5.158	5.500	5.689	5.531
Verarbeitendes Gewerbe	8.109	7.506	7.476	7.080	6.508
Handel; Rep. v. Kraftfahrz. u. Gebrauchsg.	6.078	5.899	5.924	5.265	4.529
Gesundheits-, Veterinär- u. Sozialwesen	3.668	4.038	4.143	4.328	4.467
Öffentliche Verwaltung; Verteidigung; Sozialvers.	2.857	2.670	2.668	2.278	1.955
Verkehr u. Nachrichtenübermittlung	2.133	2.108	2.152	2.319	2.350
Sonstige					
Kredit- u. Versicherungsgewerbe	1.277	1.244	1.229	1.245	1.249
Baugewerbe	2.769	2.165	2.142	2.004	1.883
Sonstige öffentliche u. private Dienstleister	1.955	2.112	2.154	2.224	2.197
Erziehung u. Unterricht	2.150	2.278	2.315	2.065	1.788
Energie u. Wasserversorgung	297	289	287	245	208
Gastgewerbe	1.613	1.758	1.782	1.688	1.568
Land und Forstwirtschaft; Fischerei	936	850	830	735	594
Bergbau, Gewinnung v. Steinen u. Erden	128	89	82	43	36
Insgesamt	39.144	38.846	39.396	38.440	36.239
	2005 = 100				
Grundstückswesen; Vermietung; Unternehmensdienstl.	88	100	107	110	107
Verarbeitendes Gewerbe	108	100	100	94	87
Handel; Rep. v. Kraftfahrz. u. Gebrauchsg.	103	100	100	89	77
Gesundheits-, Veterinär- u. Sozialwesen	91	100	103	107	111
Öffentliche Verwaltung; Verteidigung; Sozialvers.	107	100	100	85	73
Verkehr u. Nachrichtenübermittlung	101	100	102	110	111
Sonstige					
Kredit- u. Versicherungsgewerbe	103	100	99	100	100
Baugewerbe	128	100	99	93	87
Sonstige öffentliche u. private Dienstleister	93	100	102	105	104
Erziehung u. Unterricht	94	100	102	91	79
Energie u. Wasserversorgung	103	100	99	85	72
Gastgewerbe	92	100	101	96	89
Land und Forstwirtschaft; Fischerei	110	100	98	86	70
Bergbau, Gewinnung v. Steinen u. Erden	144	100	93	48	40
Insgesamt	101	100	101	99	93

Quellen: StBA 2007b, Berechnungen des DIW.

Tabelle 2-7 Erwerbstätige und Bruttowertschöpfung im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistung nach Branchen

	2000	2005	2010	2020	2030
	1000 Erwerbstätige				
Landwirtschaft, Gärtnerei	936	850	830	735	594
Industrielle Kleinbetriebe, Handwerk <sup>1</sup>	649	682	713	1.232	1.376
Baugewerbe	2.769	2.165	2.142	2.004	1.883
Handel	6.078	5.899	5.924	5.265	4.529
Kreditinstitute, Versicherungen	1.277	1.244	1.229	1.245	1.249
Verkehr, Nachrichtenübermittlung	2.133	2.108	2.152	2.319	2.350
Sonstige private Dienstleistungen	8.093	9.028	9.435	9.601	9.297
Gesundheitswesen	3.668	4.038	4.143	4.328	4.467
Unterrichtswesen	2.150	2.278	2.315	2.065	1.788
Öffentliche Verwaltung, Sozialversicherung	2.426	2.300	2.348	1.958	1.635
Verteidigung	431	370	320	320	320
GHD insgesamt	30.610	30.962	31.552	31.072	29.488
	Reale Bruttowertschöpfung, 2005 = 100				
Landwirtschaft, Gärtnerei	102	100	104	113	113
Industrielle Kleinbetriebe, Handwerk <sup>1</sup>	105	100	110	133	156
Baugewerbe	126	100	112	124	139
Handel	98	100	111	119	126
Kreditinstitute, Versicherungen	115	100	107	128	154
Verkehr, Nachrichtenübermittlung	90	100	114	151	191
Sonstige private Dienstleistungen	92	100	111	135	158
Gesundheitswesen	86	100	110	139	176
Unterrichtswesen	103	100	105	112	116
Öffentliche Verwaltung, Sozialversicherung	101	100	109	110	113
Verteidigung	111	100	93	112	137
GHD insgesamt	98	100	110	130	151

<sup>1</sup> Als Restwert ermittelt.

Quellen: StBA 2007b, Berechnungen des DIW

Aufgrund des Bevölkerungsrückgangs und des unterstellten hohen Produktivitätswachstums wird von 2005 bis 2030 mit einem Rückgang der Erwerbstätigen um insgesamt 2 Millionen gerechnet. Im Verarbeitenden Gewerbe geht im gleichen Zeitraum die Zahl der Erwerbstätigen um knapp eine Million zurück; im Jahr 2030 entfallen auf diesen Sektor nur noch 18 % der gesamten Zahl der Erwerbstätigen (der Vergleichswert für das Jahr 2000 beträgt etwa 21 %). Allerdings wird auf das Verarbeitende Gewerbe auch zu diesem Zeitpunkt noch vor dem Sektor Grundstückswesen, Vermietung, Unternehmensdienstleistungen die größte Zahl der Erwerbstätigen entfallen.

Deutliche Beschäftigungszuwächse erfolgen nur noch in den Bereichen Verkehr und Nachrichtenübermittlung, Grundstückswesen, Vermietung und Unternehmensdienstleistungen sowie Gesundheits- und Sozialwesen.

## 2.2 Energie- und Zertifikatspreisentwicklung

### 2.2.1 Energiepreise und Wechselkurs

Die zu erwartende Energiepreisentwicklung bildet – zumindest für einige Verbrauchssektoren bzw. Quellbereiche – eine zentrale Einflussgröße für die Entwicklung des Energiebedarfs und der Treibhausgasemissionen.

Die Rohölpreisentwicklung wird vom World Energy Outlook 2007 der Internationalen Energieagentur (IEA 2007) übernommen (*Referenzfall*). In Hinblick auf die Wechselkursentwicklung wird unterstellt, dass der Euro im Jahr 2010 1,40 US-Dollar wert ist, in 2030 noch 1,20 US-Dollar.

Tabelle 2-8 Import- und Endverbraucherpreise für Energieträger, 2005-2030, Preisbasis 2005

	2005	2006	2010	2020	2030
	Importpreise (CIF)				
Rohöl in \$/Barrel	52,3	60,0	57,4	58,3	60,3
Rohöl (€/t)	314,5	348,7	299,4	337,6	389,2
Erdgas (ct/kWh)	1,7	2,3	1,8	2,1	2,3
Kraftwerkssteinkohle (€/tSKE)	65,0	60,3	77,6	85,2	95,5
	Verbraucherpreise				
Industrie (ohne MwSt)					
Heizöl EL (€/t)	430,0	519,8	461,6	509,4	574,0
Erdgas (ct/kWh)	2,2	3,2	2,7	2,9	3,2
Steinkohle (€/t)	76,5	71,6	89,4	97,2	107,8
Kraftwerke (ohne MwSt)					
Erdgas (ct/kWh)	2,2	2,7	2,3	2,5	2,8
Steinkohle (€/t)	76,5	71,6	89,4	97,2	107,8
Braunkohle (€/GJ)	1,05	1,05	1,10	1,18	1,25
Haushalte					
Heizöl EL (ct/l)	44,0	58,4	52,6	57,3	64,2
Erdgas (ct/kWh)	5,1	6,2	5,8	5,9	6,2
Benzin (€/l)	1,18	1,34	1,24	1,19	1,17
Diesel (€/l)	1,02	1,10	1,04	1,02	1,02

Quellen: IEA (2007), Berechnungen des DIW Berlin.

Die Entwicklung der Importpreise für einzelne Energieträger hängt - zusätzlich zur Entwicklung des Preises für Rohöl und der Wechselkurse - auch von Annahmen zur Entwicklung der Preisrelationen zwischen den Energieträgern ab. Zur Bestimmung der Preisrelationen zwischen Rohölimporten einerseits, Steinkohlen- und Erdgasimporten andererseits wurden Regressionsanalysen für den Zeitraum von 1980 bis 2006 durchgeführt. Dabei wurde für die Importpreise für Erdgas eine einjährige Verzögerung gegenüber der Änderung von Importpreisen für Rohöl unterstellt. Die Regressionsanalysen zeigen eine hohe statistische Signifikanz. Nach den Ergebnissen dieser Analysen sinken die Preise für Steinkohlenimporte von einem Niveau von 36 bis 38 % des Wärmeäquivalenzpreises von Rohöl in 2010 auf ein Niveau von ungefähr 33 bis 36 % bis 2030. Für den Importpreis für Erdgas ergibt sich eine Relation von 72 bis 73 % bis 2010, danach sinkt der Preis für Erdgas in Relation zum Rohöl ebenfalls leicht.

In den Endverbraucherpreisen sind Verarbeitungs- und Transportkosten sowie Steuern enthalten. Insbesondere bei den Preisen, die private Haushalte für Benzin und Diesel bezahlen müssen, fallen Steuern stark ins Gewicht. Entsprechend der aktuellen Beschlusslage wird hier unterstellt, dass die derzeit gültigen Energiesteuersätze bis 2030 nominal unverändert bleiben. Dadurch sinkt die reale Steuerbelastung mit der angenommenen Inflationsrate; das trägt – bei der angenommenen Rohölpreisentwicklung – zu einem real leichten Rückgang der Kraftstoffpreise nach 2010 bei. In den von den Haushalten zu entrichtenden Preisen ist auch die Mehrwertsteuer enthalten. Es wird angenommen, dass bis 2020 der aktuelle Steuersatz von 19 % gültig bleibt.

Die Preisentwicklung für Elektrizität wird für die Untersuchung nicht exogen vorgegeben, sie ergibt sich als Ergebnis der Modellierungen.

### 2.2.2 Preise für Emissionsberechtigungen im EU-Emissionshandelssystem

EU-Emissionsberechtigungen wurden im Jahr 2007 auf den Spot-Märkten zu einem Wert nahe Null gehandelt, der mittlere Future-Preis für 2010 lag dagegen bei etwa 20 Euro je EUA (European Union Allowances). Für die Szenarien wird davon ausgegangen, dass dieser Future-Preis für 2010 die richtigen Knappheitssignale gibt und die Spotpreise für CO<sub>2</sub>-Emissionsrechte bis zu diesem Zeitpunkt auf 20 EURO je EUA steigen. Die Spotpreise im Jahr 2008 bewegen sich bereits in dieser Spanne. Bis zum Jahr 2030 wird aufgrund einer weiteren Verknappung der Emissionsrechte mit einem weiteren Anstieg des Preises auf 35 Euro je EUA gerechnet.

Tabelle 2-9 *Angenommene Entwicklung der Zertifikatspreise*

	2005	2006	2007	2008 <sup>a)</sup>	2010	2020	2030
	Euro (2005) je Tonne CO <sub>2</sub>						
Zertifikatspreis	18	17	1	22	20	30	35
<sup>a)</sup> Januar bis April 2008 (Termin Dezember 2008).							

Quelle: DIW

### 2.3 Sektorübergreifende Maßnahmen

Unter die hier zu berücksichtigenden sektorübergreifenden Politiken und Maßnahmen ist im Wesentlichen die **Einführung des EU-Emissionshandelssystems** (EU ETS) ab 2005 zu fassen.

- Seit Januar 2005 unterliegen Anlagen der Stromerzeugung sowie einer Reihe energieintensiver Produktionen einer Abgabepflicht für CO<sub>2</sub>-Zertifikate (Emissionsberechtigungen) im Umfang der CO<sub>2</sub>-Emissionen des jeweiligen Vorjahres. Die Zahl der insgesamt verfügbaren Emissionsberechtigungen lag in der Pilotphase des EU ETS aus einer Vielzahl von Gründen deutlich über den tatsächlichen Emissionsniveaus. Dies führte zum Ende der Pilotphase des EU ETS zu einem Verfall der Zertifikatspreise auf Werte nahe Null. Für die zweite Periode (2008-2012) liegt das Emissionsziel für die EU-27 um etwa 126 Mio. t CO<sub>2</sub>

unter dem Emissionsniveau der ab 2008 erfassten Anlagen im Jahr 2005. Die entsprechende Knappheit hat ab 2008 zu einem signifikanten Preis für die CO<sub>2</sub>-Zertifikate geführt (siehe Kapitel 2.2.2).

- Mit der dritten Phase des EU ETS wird die Bandbreite der dem System unterliegenden Anlagen ausgeweitet, dies betrifft vor allem ausgewählte N<sub>2</sub>O-emittierende Anlagen der chemischen Industrie sowie die Primäraluminiumherstellung.
- In der Periode 2005 bis 2007 ist der überwiegende Teil der Emissionszertifikate den emittierenden Anlagen kostenlos zugeteilt worden. Gleichwohl werden die Anlagenbetreiber den Preis für CO<sub>2</sub>-Emissionsberechtigungen bei ökonomisch rationalem Verhalten beim Betrieb der Anlagen als Opportunitätskosten der kostenlos zugeteilten Zertifikate voll berücksichtigen. Für Neuinvestitionen gilt dies nur eingeschränkt, da die kostenlose Zuteilung für Neuanlagen einer Neuanlagensubvention gleichkommt, die bei entsprechender Ausgestaltung der Neuanlagenzuteilungsregelungen das CO<sub>2</sub>-Preissignal erheblich verzerren kann.
- Mit den Beschlüssen zur Revision des EU-Emissionshandelssystems ist für das EU ETS ein Emissionsziel (Cap) bis zum Jahr 2020 festgelegt worden. Für den Fall, dass es zu einem internationalen Klimaschutzübereinkommen kommt, werden die Emissionsziele auch im EU ETS verschärft. Damit dürfte sich ein höheres Niveau der Preise für EU-Emissionsberechtigungen einstellen.
- Ab 2013 werden im EU ETS grundlegend revidierte Zuteilungsregelungen für die Emissionsberechtigungen zur Anwendung kommen, die neben den ökonomischen Anreizen für den Anlagenbetrieb für wichtige Bereiche (z.B. die Stromerzeugung) auch das Investitionskalkül verändern werden.

Die Einführung des EU-Emissionshandelssystems wird in den folgenden Sektoren bzw. Quellbereichen berücksichtigt:

- In den Sektoren Stromerzeugung sowie Industrie (energiebedingte und prozessbedingte Emissionen) entfaltet das CO<sub>2</sub>-Preissignal des EU ETS seine direkten Wirkungen auf den Anlagenbetrieb und – über die Zuteilungsregelungen ggf. verzerrt – die Investitionsentscheidungen.
- Für die Strom verbrauchenden Sektoren ergeben sich ggf. indirekte Emissionseffekte durch die Überwälzung der CO<sub>2</sub>-Kosten auf die Strompreise (Auswirkungen auf den Stromverbrauch).
- Für CO<sub>2</sub>-freie Energiequellen, die – im Rahmen der ergriffenen Förderinstrumente – nicht dem Wettbewerb ausgesetzt sind (siehe Kapitel 3.2.7) ergibt sich aus den Strommarkteffekten der CO<sub>2</sub>-Zertifikatspreise zwar keine Veränderung der wirtschaftlichen Situation. Das notwendige Fördervolumen (Differenz zwischen Sondervergütungen für Stromerzeugung aus erneuerbare Energien und Marktpreisen) sinkt jedoch entsprechend. Aus dieser Perspektive ist der EU

ETS auch für die Einordnung der Förderinstrumente für erneuerbare Energien in der Stromerzeugung heranzuziehen.

Im Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) wird der EU ETS in den folgenden Sektoren wie folgt berücksichtigt:

- Für Stromerzeugungsanlagen werden die bestehenden Zuteilungsregelungen für die beiden Perioden 2005-2007 und 2008-2012 sowie die nach den Beschlüssen zur Revision des EU ETS absehbaren Zuteilungsregelungen ab 2013 zu Grunde gelegt.
- Für alle dem EU ETS unterliegenden Anlagen (Stromerzeugung, energie- und ggf. prozessbedingte Emissionen der Industrie) wird der Zertifikatspreis der Referenzvariante in Ansatz gebracht.
- Für alle Strom verbrauchenden Geräte und Anlagen wird der Strompreis unter Berücksichtigung des CO<sub>2</sub>-Preises in Ansatz gebracht.

Im Strukturwandel-Szenario (SWS) wird darüber hinaus die folgende Veränderung der Rahmenbedingungen berücksichtigt:

- Sofern die EU im Rahmen eines internationalen Klimaschutzabkommens ihre Emissionsziele verschärft, wird dies auch Auswirkungen auf die Cap im Rahmen des EU ETS und damit auf den Preis für Emissionsberechtigungen haben. Vor diesem Hintergrund wird im SWS das hohe Preisszenario für EU-Emissionsberechtigungen in Ansatz gebracht.

Auf die spezifischen Regelungen des EU ETS wird ggf. in den jeweiligen Sektor-Kapiteln näher eingegangen.

## 3 Szenarienbeschreibung und sektorale Quantifizierung der MaBnahmenwirkungen

### 3.1 Einleitung

Die MaBnahmenanalyse und die Berechnung der Emissionen fr die verschiedenen Treibhausgase basiert auf sektoralen Analysen mit jeweils spezifischen Modellinstrumentarien und -ansätzen (vgl. dazu Kapitel 1.2).

Ffr die Endverbrauchsbereiche (Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, Industrie, Verkehr) werden jeweils die Entwicklung des Endenergieverbrauchs sowie die sich daraus ergebenden Emissionen ermittelt, wobei auch die Wechselwirkungen mit den prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen (Eisen- und Stahlindustrie) sowie dem Stromerzeugungssektor (fr die Industriekraftwerke des Verarbeitenden Gewerbes) bercksichtigt werden.

Aufbauend auf dem Datengerst fr die Endenergienachfrage werden im Umwandlungsbereich die Stromerzeugung (einschlieBlich der Stromerzeugung in den Industriekraftwerken) einerseits und die anderen Umwandlungssektoren (Raffinerien etc.) unter Bercksichtigung der einschlgigen Politiken und MaBnahmen analysiert.

Ffr die Stromerzeugung bezieht sich die Sektoranalyse einerseits auf die Entwicklung der erneuerbaren Energien sowie andererseits auf die fossile Stromerzeugung.

Über eine Integrationsrechnung werden konsistente Mengengerste fr die Endenergie- und die Primärenergienachfrage sowie die Energieeinsatzdaten fr die Umwandlungsbereiche jenseits der Stromerzeugung ermittelt. Auf dieser Basis knnen die Treibhausgasemissionen aus Verbrennungsprozessen berechnet werden.

Über eine ergnzende Analyse zu den flchtigen Emissionen des Energiesektors, die auf dem ermittelten Mengengerst fr die Energiedaten beruht, werden die gesamten energiebedingten Treibhausgasemissionen quantifiziert.

Ffr die verbleibenden Quellbereiche (ohne Landnutzung, Landnutzungsnderungen und Forstwirtschaft) erfolgen jeweils sektorspezifische Modellanalysen:

- prozessbedingte Emissionen fr CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O
- prozessbedingte Emissionen fr HFKW, FKW und SF<sub>6</sub>
- Landwirtschaft
- Abfallwirtschaft

Aus den Modellanalysen fr die verschiedenen Sektoren knnen dann die Gesamtemissionen fr die Treibhausgase ermittelt werden, die im Zusammenhang mit der Bevulkerungs-, Wirtschafts- und Energiebedarfsentwicklung zum einen einer Komponentenanalyse unterzogen werden. Zum anderen erfolgt auf deren Basis eine Sensitivitätsanalysen mit dem zentralen Parameter Wirtschaftswachstum..

## 3.2 Projektionen einzelner Sektoren innerhalb des integrierten Modells

### 3.2.1 Verkehr

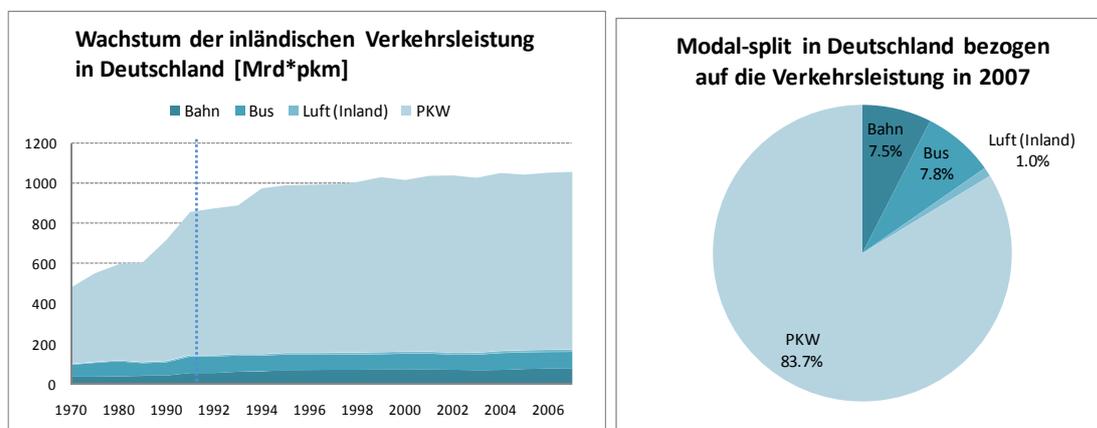
#### 3.2.1.1 Vorbemerkungen

Der Verkehrssektor in Deutschland lässt sich in drei Bereiche gliedern: Personenverkehr (ohne Luftverkehr), Güterverkehr (ohne Luftverkehr) und Luftverkehr. Die drei Bereiche wiesen bereits in der letzten Dekade eine unterschiedliche Entwicklungsdynamik auf. Diese Trends werden sich voraussichtlich auch in den nächsten Jahren fortsetzen.

Abbildung 3-1 zeigt die Entwicklung des Personenverkehrs von 1970 bis 2007. Bis Anfang der 1990er Jahre ist ein deutliches Wachstum zu beobachten.<sup>3</sup> Ab Mitte der 1990er Jahre kann für den Personenverkehr nahezu eine Stagnation beobachtet werden. Dies gilt für alle Verkehrsträger außer dem Luftverkehr, der von 1990 bis 2007 mit rund +40% im Inland und +80% im gesamten Luftverkehr noch ein deutliches Wachstum aufweist.

Im Personenverkehr dominiert der modale Anteil des PKW mit rund 83% die Personenverkehrsleistung. Die Dominanz ist allerdings deutlich geringer wenn man die Zahl der Wege betrachtet und auch Fuß- und Radwege einbezieht, die 2006 knapp ein Drittel aller Wege ausmachten.

Abbildung 3-1 Entwicklung des Personenverkehrs (1970-2007) und Modal-Split in 2007



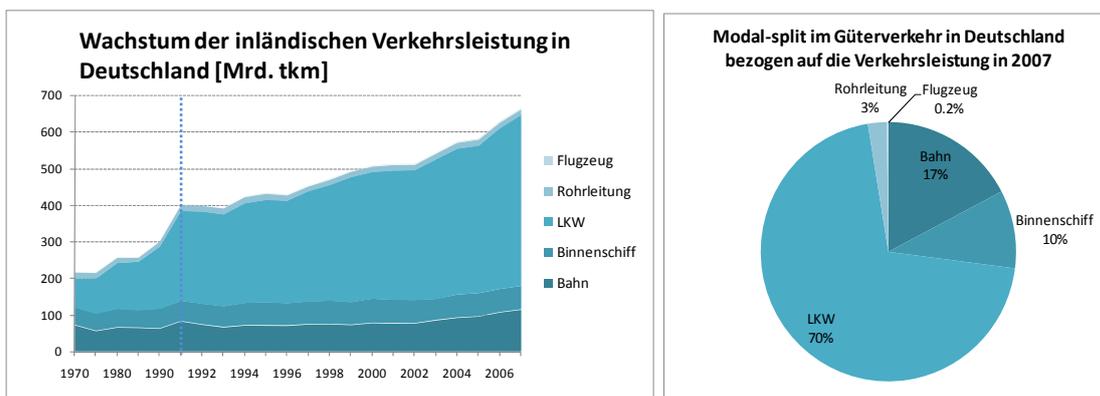
Quelle: DIW (2009).

Der Güterverkehr folgt seit 1970 einem ungebrochenen Wachstumstrend, der sich vor allem ab Mitte der 1980er Jahre deutlich verschärft hat und bis heute anhält (siehe Abbildung 3-2). Der LKW-Verkehr hat in dieser Zeit kontinuierlich an Marktanteilen gewonnen, so dass in 2007 der modale Anteil des LKW rund 70% an der Verkehrsleistung

<sup>3</sup> Ab 1991 verändert sich die räumliche Basis durch die Wiedervereinigung und die Einbeziehung Ostdeutschlands in die Statistik. Gleiches gilt für den Güterverkehr.

tung betrug. Allerdings konnte in den letzten 5 Jahren die Bahn auch Marktanteile gewinnen und ihren modalen Anteil auf rund 17% erhöhen von weniger als 15% in 1999. Auch im Güterverkehr war das Wachstum des Luftverkehrs am stärksten, allerdings ausgehend von einem sehr niedrigen Niveau.

Abbildung 3-2 Entwicklung des Güterverkehrs (1970-2007) und Modal-Split in 2007



Quelle: DIW (2009).

Zusammengefasst ergibt sich für den Verkehr in Deutschland in den letzten Jahren das Bild eines stagnierenden Personenverkehrs bei kontinuierlich wachsendem Güterverkehr und dynamisch ansteigendem Luftverkehr. Allerdings haben sowohl der Güterverkehr als auch der Luftverkehr deutlich unter der Wirtschaftskrise in 2008/2009 gelitten und mussten Nachfrageeinbrüche von -10 bis -20% hinnehmen.

### 3.2.1.2 Rahmendaten und Maßnahmen

#### 3.2.1.2.1 Rahmendaten

Die sektorspezifischen Rahmendaten für den Verkehr sind in Tabelle 3-1 und Tabelle 3-2 dargestellt. Der Personenverkehrsaufwand ist aus dem Projekt „Politiksznarien IV“ (Öko-Institut et al. 2007) übernommen worden. Für Güterverkehr sind dagegen die BMVBS-Prognosen (ITP/BVU 2007) verwendet worden. Dies bewirkt im Vergleich mit Politiksznarien IV eine erhebliche Erhöhung der Güterverkehrsleistung und dadurch eine größere Energienachfrage und höhere Emissionen des Verkehrs als in den dortigen Szenarien.

Tabelle 3-1 Personenverkehrsleistung

	2000	2004 / 2005	2010	2020	2025	2030
	Mrd pkm					
<b>PSz-IV</b>						
PKW, Kombi	838		894	948		940
Bahnverkehr	89		95	104		104
Busverkehr	84		87	89		90
Gesamt	1.011		1.076	1.141		1.134

Quelle: Öko-Institut et al. 2007, ITP/BVU 2007.

Tabelle 3-2 Güterverkehrsleistung

	2000	2004 / 2005	2010	2020	2025	2030
	Mrd tkm					
<b>PSz-IV</b>						
Straße	346		437	540		604
Schiene	81		90	99		110
Binnenschiff	67		77	92		103
Gesamt	494		604	731		817
<b>BMVBS-Verflechtungsprognose 2025</b>						
Straße		393			704	
Schiene		92			152	
Binnenschiff		64			80	
Gesamt		549			936	

Quelle: Öko-Institut et al. 2007, ITP/BVU 2007, Prograns 2007.

### 3.2.1.2.2 Maßnahmen des Mit-Maßnahmen-Szenarios

Im MMS werden die Maßnahmen berücksichtigt, die entweder schon umgesetzt sind oder deren Umsetzung beschlossen bzw. unmittelbar absehbar ist. Die folgenden Maßnahmen werden in den Analysen zum MMS berücksichtigt:

**Ökosteuern 1999-2003:** Ökologische Steuerreform für den Zeitraum 1999 bis 2003 mit einer Erhöhung von 3,07 Cent pro Liter und Jahr (zusammen 15,34 ct/l ab 2003).

**Spreizung LKW-Maut:** Stärkere Spreizung der Mautsätze der LKW-Maut auf Bundesautobahnen für LKW über 12 t zulässigem Gesamtgewicht (zGG) ab Mai 2008 und bis 2020/2030 (für Dreiachser: 0,106-0,127-0,159-0,207 €/km je nach Schadstoffklasse; für Vier- und Mehrachser: 0,116-0,138-0,169-0,217 €/km je nach Schadstoffklasse)<sup>4</sup>.

**Biokraftstoffquotengesetz** Umsetzung des Biokraftstoffquotengesetzes vom Dezember 2006 BioKraftQuG (gemäß BGBl. I S. 2819, Dezember 2006), mit der Beimischungspflicht von Biokraftstoffen zu Benzin<sup>5</sup> (Ethanol) und Diesel (RME, BTL). Die zu erreichenden Zielwerte sind definiert als der Anteil von Biokraftstoffen an der Gesamtkraftstoffnachfrage (fossil und bio) für 2010 von 6,75 %, und für 2015 von 8 %. Für 2020 und danach bis 2030 rechnet das Mit-Maßnahmen-Szenario mit der von der Bundesregierung vorgesehenen Netto-THG-Emissionsminderung um 7 % der Diesel und Benzin THG-Emissionen. Dies entspricht unter der Annahme von indirekten THG-Emissionen von 50 % der eingesparten THG-Emissionen einem Energieanteil von 14 % durch Biokraftstoffe.

**CO<sub>2</sub>-Strategie PKW (CO<sub>2</sub>-Emissionsgrenzwerte):** Umsetzung der CO<sub>2</sub>-Strategie für PKW durch Einführung von CO<sub>2</sub>-Emissionsobergrenzen, die der aktuell beschlossenen EU-Regelung bzw. deren Fortschreibung zu einem Durchschnitt der CO<sub>2</sub>-

<sup>4</sup> Die seit 01/2009 gültigen höheren Mautsätze waren zum Zeitpunkt der Auftragsvergabe noch nicht absehbar und konnten daher bei der Modellierung nicht berücksichtigt werden.

<sup>5</sup> Seit dem 16. Juli 2009 gelten neue Biokraftstoffquoten (Gesetz zur Änderung der Förderung von Biokraftstoffen, BGBl. I 2009, Nr. 41, S. 1804.),

Emissionen der deutschen Neuwagenflotte im Jahr 2015 von 143 g CO<sub>2</sub>/km und im Jahr 2020 von 105 g CO<sub>2</sub>/km führen wird. Diese Absenkung soll durch motorische/antriebsseitige Maßnahmen erreicht werden. Die Umsetzung folgt dem EU-Vorschlag der Zuordnung von Reduktionszielen auf der Ebene der nationalen und internationalen PKW-Hersteller. Zusätzlich werden durch nicht-motorische Maßnahmen wie Leichtlauföle und -reifen, Reifendruckkontrolle, weitere 10 g CO<sub>2</sub>/km eingespart.

**CO<sub>2</sub>-basierte Kfz-Steuer für PKW:** Die Berechnung modelliert eine Umstellung der Kfz-Steuer auf eine schadstoff- und CO<sub>2</sub>-bezogene Bemessungsbasis, wenn sie ab 1.1.2009 gegolten hätte und bis 2030 gilt. Die Umstellung gilt nur für ab 1.1.2009 neu zugelassene PKW. Die Ausgestaltung berücksichtigt: (a) fahrzeugtypische oder einzelfahrzeugtypische CO<sub>2</sub>-Emissionen; (b) Es wurde unterstellt, dass die Maßnahme kostenneutral gestaltet wird und keine Änderung der Steuererhebung notwendig wird; (c) Die Umstellung geht – im Unterschied zu der aktuell beschlossenen Regelung – von einem pauschalen Ausgleich des Energiesteuervorteils (vormals Mineralölsteuer) für PKW mit Dieselmotor auf CO<sub>2</sub>-Bezug aus; (d) Die Begünstigung besonders schadstoffarmer PKW, die vorzeitig allen Anforderungen künftiger Abgasnormen entsprechen. (e) Für den Fahrzeugbestand zum 31.12.2008 Anhebung der Steuersätze für Personenkraftwagen der Euro-2-, Euro-3 sowie gegebenenfalls Euro-4 Abgasnorm, angemessen in ihrer Höhe und im Verhältnis zur emissionsabhängigen Besteuerung der übrigen Fahrzeuge. (f) Für den Fahrzeugbestand zum 31.12.2008 die Beibehaltung der schon heute deutlich höheren Steuersätze für Altfahrzeuge der Euro-1-Abgasnorm und der Abgasstufe "Euro-0".

**CO<sub>2</sub>-Labelling für PKW** (PKW-EnVKV) gemäß BGBl. I.S. 2407 Oktober 2006): Einführung einer eindeutigen Verbrauchs- und CO<sub>2</sub>-Emissionskennzeichnung für neue PKW ab 1.8.2008, die bis 2030 gilt. Die Einstufung in Effizienzklassen soll durch Farbcodes ersichtlich sein. Der unveröffentlichte Entwurf des BMWi sieht die Effizienzklasse A für PKW mit 1000 kg Leergewicht bei weniger als 111,5 g CO<sub>2</sub>/km, mit 1500 kg Leergewicht bei weniger als 143,5 g CO<sub>2</sub>/km und mit 2000 kg Leergewicht bei weniger als 175,5 g CO<sub>2</sub>/km.<sup>6</sup>

### 3.2.1.2.3 Maßnahmen des Strukturwandel-Szenarios

Dieses Szenario besteht aus sieben weiteren Maßnahmen, die über die bereits im MMS implementierten Politiken und Maßnahmen in Bezug auf ihre Treibhausgas-Minderung hinausgehen. Die folgenden Maßnahmen werden im SWS berücksichtigt:

1. Erhebung der Mehrwertsteuer auf den Flugverkehr
2. Ausdehnung der LKW-Maut

---

<sup>6</sup> Diese Maßnahme ist – entgegen der Erwartungen zum Zeitpunkt der Konzeption dieser Studie – noch nicht umgesetzt worden.. Die Grundlage der Analysen bildet daher ein (unveröffentlichter) Entwurf des BMWi.

3. Abschaffung der Stromsteuer für den Bahnstromverbrauch
4. Forcierung der CO<sub>2</sub>-Strategie PKW (95/80 g CO<sub>2</sub>/km in 2020/2030)
5. Anpassung der Besteuerung von Dienstwagen
6. Kerosinbesteuerung „2013-2030“
7. Tempolimit von 130 km/h auf Autobahnen

Alle Maßnahmen sollen bis 2030 in Kraft bleiben und werden wie folgt spezifiziert:

**Mehrwertsteuer (MwSt)** auf Flugverkehr: Ab 2010 Erhebung des vollen Mehrwertsteuersatzes (19 %) auf den Streckenanteil internationaler Flüge, der bis zum ersten Stopp zurückgelegt wird (innerdeutsche Flüge sind schon steuerfällg).

**Ausdehnung der LKW-Maut:** Diese Maßnahme umfasst eine starke Erweiterung der Maut. Erhöhung und Ausdehnung der LKW-Maut auf alle Fernstraßen sowie auf kleinere Fahrzeugklassen ab 3,5 t zGG bis 2015. Hierbei wird die höhere ökologische Sensitivität an Bundesstraßen sowie die dort auftretenden höheren spezifischen Wegkosten durch eine Spreizung der Kostensätze aufgefangen, so dass auf Bundesautobahnen 23 ct/km anfallen und auf Bundesstraßen 30 ct/km (durchschnittlich rund 25 ct/km). Die Spreizung anhand der Schadstoffklassen wurde entsprechend der Maßnahme „Spreizung der LKW-Maut“ im MMS berücksichtigt.

**Abschaffung der Stromsteuer auf Bahnverkehr:** Abschaffung der Stromsteuer für den Schienenverkehr ab 2010. Dies gilt für Schienenfern- und -nahverkehr sowie den städtischen ÖPNV.

**Forcierung der CO<sub>2</sub>-Strategie PKW:** Eine forcierte Version der CO<sub>2</sub>-Strategie für PKW soll durch eine Absenkung des Zielwertes für 2020 auf 95 gCO<sub>2</sub>/km und einen zusätzlichen Zielwert von 80 gCO<sub>2</sub>/km in 2030 erreicht werden. Diese Werte sollen dem Durchschnitt der Neuwagen in Deutschland zum jeweiligen Zeitpunkt entsprechen. Die Minderung in Treibstoffverbrauch und GHG Ausstoß soll durch technische Maßnahmen an PKWs erreicht werden. Ggf. muss diese Maßnahmen durch zusätzliche Grenzwerte wie maximale Gewichte für PKW ergänzt werden. Dies wurde aber bei der Abschätzung der Maßnahme nicht unterstellt.

**Anpassung der Besteuerung von Dienstwagen:** Eine Änderung der Besteuerung ähnlich der seit 2002 in Großbritannien geltenden Regelung wird modelliert: Anstatt der pauschalen Anrechnung von 12 % als einkommenswerter Vorteil soll eine Kopplung der Besteuerung an die CO<sub>2</sub>-Emissionen erfolgen. Dazu wird der Anteil Dienstwagen der deutschen PKW-Flotte in Abhängigkeit von den spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen besteuert. Die Spreizung wird nach britischem Gesetz (in Tabelle 3-8 dargestellt) im Jahr 2010 eingeführt. Diese Spreizung bleibt bis 2030 konstant.

**Kerosinbesteuerung „2013-2030“:** Die Kerosinbesteuerung wird im Jahr 2013 für den nationalen und internationalen Luftverkehr eingeführt und bis 2030 fortgeführt.

Die Besteuerung wird gegenüber den Festlegungen in PSz IV von 30 ct/l auf 65,4 ct/l angehoben.

Bei der Bewertung der Maßnahmewirkung ist zu berücksichtigen, dass in der gültigen Systematik der Treibhausgasinventare und der Abschätzung der Zielerreichung der CO<sub>2</sub>-Emissionen nur der nationale Teil der CO<sub>2</sub>-Einsparungen berücksichtigt wird. Dieser nationale Anteil wird entsprechend dem Vorgehen im Nationalen Treibhausgasinventar 2007 mit 20 % des Kerosinverbrauchs aller Flüge angenommen.

**Tempolimit auf Autobahnen:** Auf dem Hamburger Parteitag der SPD 2007 wurde ein Tempolimit von 130 km/h auf Autobahnen festgelegt. Es gilt damit für PKW und leichte Nutzfahrzeuge, da letztere vor allem im Kurier- und Expressdienst häufig auch höhere Geschwindigkeiten fahren.

Der Energieverbrauch und damit der Treibhausgasausstoß steigen mit dem Quadrat der Geschwindigkeit eines Fahrzeuges. Damit wirkt sich eine Beschränkung der Geschwindigkeit insbesondere bei höheren Geschwindigkeiten aus. Ein Tempolimit auf Autobahnen, d.h. den Straßen mit den höchsten Geschwindigkeiten, kann folglich die größten Einsparbeträge an Energie liefern.

Außerdem trägt ein Tempolimit zur Verstetigung des Verkehrsflusses bei, da es die Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen den Fahrzeugen verringert, welche sonst häufig zu Geschwindigkeitswechseln mit Energieverlusten bis hin zu dem sogenannten „Stau aus dem nichts“ (Nagel und Schreckenberg 1992) und damit höherem Verbrauch führen. Weiterhin verbessert ein Tempolimit auf längeren Strecken die Wettbewerbsfähigkeit der Bahn, so dass bei Einführung eines Tempolimits ein begrenzter Effekt einer geänderten Modalwahl sowie auch einer veränderten Zielwahl mit reduzierten Distanzen erwartet werden kann.

Ein Tempolimit von 130 km/h würde auch die Festigkeits- und Sicherheitsanforderungen an PKW verringern und könnte damit durch die kleinere Dimensionierung von tragenden und sicherheitsrelevanten Bauteilen sowie auch des Motors („Downsizing“) zu Gewichtseinsparungen führen. Eine Gewichtseinsparung von 100kg bringt rund 0,3 bis 0,4 l Kraftstoffeinsparung pro 100 km (Schallaböck et al. 2006). In Verbindung mit einem maximalen Gewichtslimit, welches auch die CO<sub>2</sub>-Strategie PKW unterstützen würde, könnten hier deutliche Einsparungen erzielt werden. Dieser Effekt wurde bei der Abschätzung der Maßnahmewirkung nicht berücksichtigt.

Neben der Verringerung des Energieverbrauchs und der Schadstoffemissionen sei noch auf zwei weitere Effekte des Tempolimits hingewiesen: Erstens verringert das Tempolimit die – ebenfalls geschwindigkeitsabhängigen – Lärmemissionen und zweitens kann durch die entsprechend kleiner dimensionierten Autobahnen der Flächenverbrauch verringert und auch eine geringere Versiegelung erreicht werden.

### 3.2.1.3 Methodik

Die Methodik zur Berechnung der Wirkung der MMS und SWS Maßnahmen im Verkehrssektor besteht aus drei Komponenten. Die zentrale Komponente bildet die Anwendung des ASTRA Modells. Als zweite Komponente wurde das ASTRA-Modell für dieses Projekt mit der neuesten Version des Modells TREMOD (ifeu/UBA, unveröffentlicht) abgestimmt, sowie für 2005 exakt an den Statistiken der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (2008) ausgerichtet. Die dritte Komponente bilden Partialmodelle zur Abschätzung der Wirkung von Maßnahmen, die sich mit ASTRA nicht vollständig abbilden lassen (z.B. durch die Einschränkung der Betrachtung des Luftverkehrs auf die EU27+2 Länder). Im Folgenden wird zuerst das ASTRA Modell knapp beschrieben und dann die Modifikationen zur Abgleichung mit TREMOD und der Statistik der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen dargestellt. Anschließend wird die Methodik zum Aufbau des MMS- und des SWS-Szenarios dargestellt.

#### 3.2.1.3.1 Grundstruktur von ASTRA

Das ASTRA-Modell<sup>7</sup> wurde ursprünglich im Rahmen des EU-Projektes ASTRA im 4. Forschungsrahmenprogramm der europäischen Kommission entwickelt, mit dem Ziel ein Werkzeug zur strategischen Bewertung der europäischen Verkehrspolitik aufzubauen. "Strategisch" bedeutete zum Einen eine *längerfristige Perspektive* (30 Jahre Zeithorizont) zu wählen und zum Anderen eine *integrierte Analyse* der Wirkungen sowohl im Verkehrssystem als auch im Wirtschaftssystem und im Umweltbereich durchzuführen. Da zwischen den einzelnen Systemen eine Vielzahl von Rückkopplungen beobachtet werden kann, wurde System Dynamics als Modellierungsansatz gewählt, dessen Stärken genau in der Abbildung solcher Rückkopplungsschleifen liegen.

Der Zusammenhang zwischen den einzelnen Systemen sowie die übergeordneten Rückkopplungen in ASTRA lassen sich der Abbildung 3-3 entnehmen. Die Version von ASTRA, die in Politiksznarien V genutzt wurde, umfasst 29 europäische Länder, deren Ökonomien jeweils in 25 Sektoren unterteilt sind und die untereinander durch den Außenhandel und die internationalen Verkehrsströme gekoppelt sind.

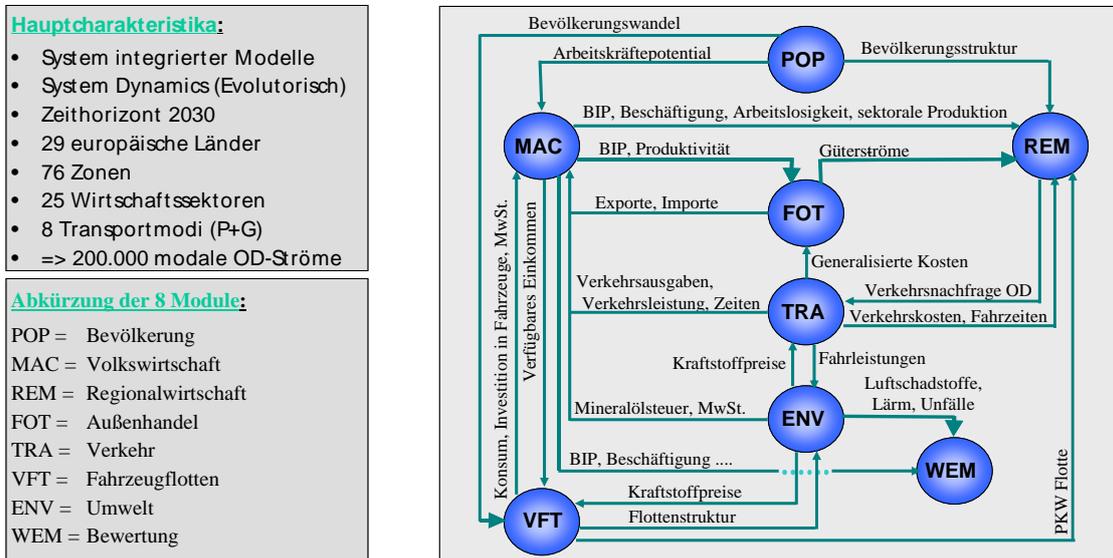
ASTRA nutzt ein 1-Jahres-Kohortenmodell zur Abbildung der Bevölkerungsstruktur in den einzelnen Ländern. Dieses liefert relevante Rahmenbedingungen an andere Module, wie das Arbeitskräftepotential für das makroökonomische Modul oder die verkehrsverhaltensrelevanten Altersgruppen für das Verkehrsmodul. Im makroökonomischen Modul werden die Angebots- (d.h. Produktionsfaktoren und Technologie) und Nachfrageseite (d.h. Elemente der Endnachfrage) der Volkswirtschaften, die sektoralen Verflechtungen mittels Input-Output-Tabellen, die sektorale Beschäftigung und der Staatshaushalt abgebildet. Gleichzeitig liefern die sektoralen Exportströme neben den Produktionswerten einen wichtigen Treiber für das Güterverkehrsmodell (siehe auch Abbildung 3-6), während das Personenverkehrsmodell durch die Bevölkerungs- und

---

<sup>7</sup> ASTRA = Assessment of Transport Strategies.

Einkommensentwicklung sowie die Fahrzeugflotten getriggert wird (siehe auch Abbildung 3-5).

Abbildung 3-3 Struktur und Interaktionen des ASTRA-Modells



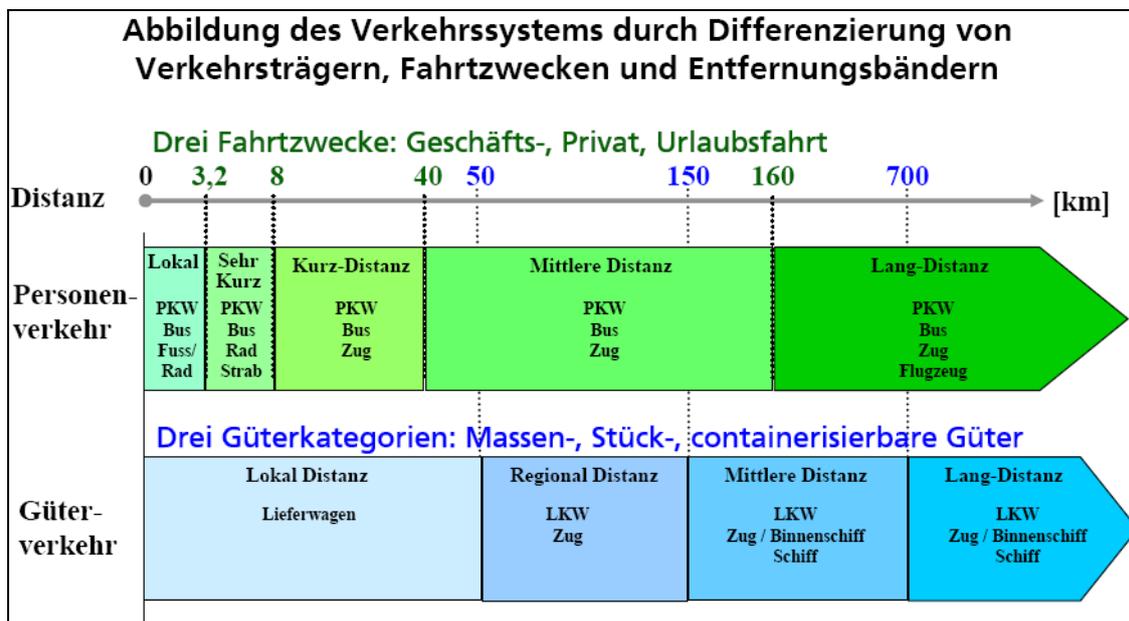
Quelle: Fraunhofer ISI.

### 3.2.1.3.2 Struktur des Verkehrsmodells von ASTRA

Die Differenzierung der Nachfrage im Verkehrssystem erfolgt für den Personenverkehr nach drei Fahrtzwecken (Geschäfts-, Privat- und Urlaubsfahrten) und für den Güterverkehr nach drei Güterkategorien (Massen-, Stück- und containerisierbare Güter). Die Nachfrage im Personenverkehr ist nach fünf Entfernungsbändern gegliedert in denen jeweils verschiedene Verkehrsträger zur Verfügung stehen. Im Güterverkehr werden vier Entfernungsbänder unterschieden (siehe Abbildung 3-4).

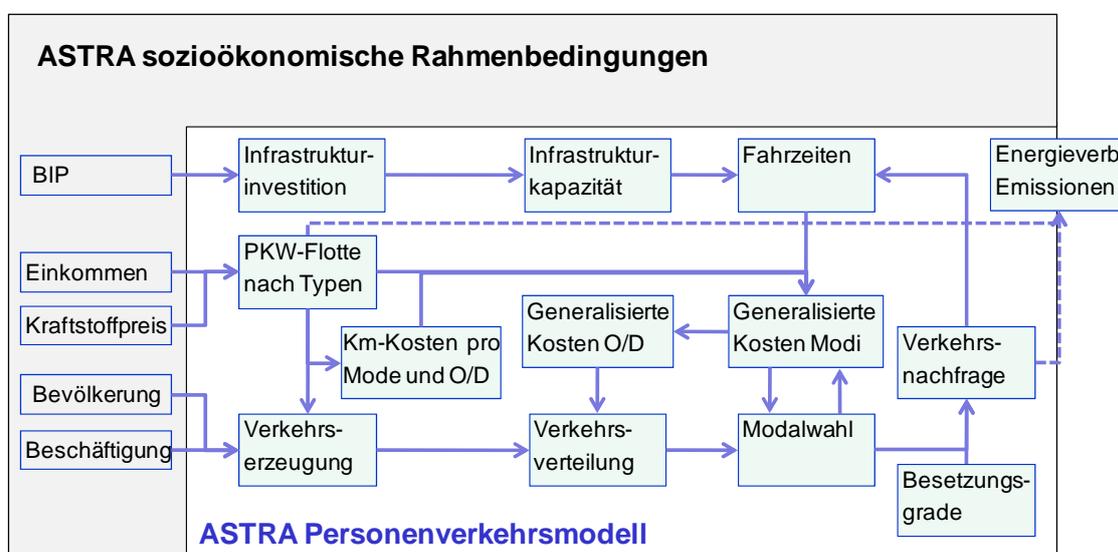
Das Verkehrssystem ist mit einem modifizierten und voll integrierten 4-Stufen Verkehrsmodell implementiert. Die vier Stufen (Verkehrserzeugung, -verteilung, Modal- und Routenwahl, letztere in vereinfachter Form) des Personen- und Güterverkehrsmodells sind im regionalökonomischen Modul (REM) und im Verkehrsmodul (TRA) abgebildet (siehe Abbildung 3-5 für den Personenverkehr und Abbildung 3-6 für den Güterverkehr). In diesen beiden Modulen von ASTRA setzen die meisten verkehrspolitischen Maßnahmen an, da hier die regional- und modal-spezifischen Zeit- und Kostenkomponenten hinterlegt sind, die dann in die Entscheidungsfunktionen (Logit-Funktionen) der Verkehrsnutzer Eingang finden. Reaktionen der Verkehrsnutzer können auf allen Entscheidungsstufen gemessen werden, d. h. unterschiedliche Modalwahl, veränderte Zielwahl und damit auch veränderte Distanzen.

Abbildung 3-4 Abbildung des Verkehrssystems durch Differenzierung von Verkehrsträgern, Fahrtzwecken und Entfernungsbändern in ASTRA



Quelle: Fraunhofer ISI.

Abbildung 3-5 Struktur des Personenverkehrsmodells in ASTRA



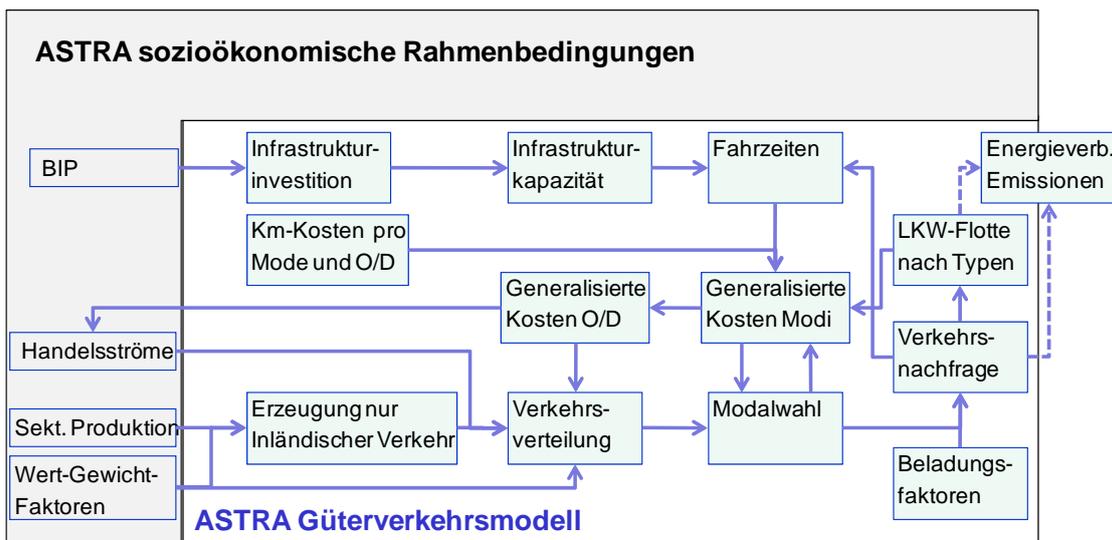
Quelle: Fraunhofer ISI.

Der Personenverkehr wird in ASTRA angetrieben zum Einen durch die sozioökonomischen Rahmenbedingungen wie BIP und Einkommen, Bevölkerungs- und Beschäftigungsentwicklung und zum Anderen durch PKW-Flotten sowie Zeit- und Kostenparameter im Verkehrsmodell (siehe Abbildung 3-5). Außer der Bevölkerung, die durch Migration, Geburten- und Sterberaten komplett unabhängig vom Verkehrssystem modelliert ist, kann jeder sozioökonomische Treiber bzw. jede verkehrsspezifische Zeit- und Kostenkomponente durch klimapolitische Maßnahmen verändert werden und wieder-

um Veränderungen bei den anderen Elementen des Verkehrssystems auslösen. Direkte Wirkungen einer Maßnahme auf das Verkehrssystem erfolgen über die Veränderung der Kraftstoffpreise (z.B. Mineralölsteuern), die Veränderung des Neuwagenkaufverhaltens und damit der PKW-Flotte (z.B. Kfz-Steuern oder Feebates), der km-Kosten (z.B. Maut oder durch Veränderung der PKW-Flotte) oder der Fahrzeiten (z.B. Tempolimit).

Die Treiber für den Güterverkehr sind anders gelagert als für den Personenverkehr. Die beiden wichtigsten Treiber sind die sektorale Produktion und die internationalen Handelsströme. Auch hier spielen die Flotten-, Zeit- und Kostenparameter eine Rolle bei der Abschätzung der Verkehrs- und Energienachfrage (siehe Abbildung 3-6). Aber sie wirken sich stärker auf die Modalwahl aus als auf die Verkehrserzeugung und -verteilung, die im Wesentlichen von der wirtschaftlichen Entwicklung, repräsentiert durch Produktion und Handel, abhängen. Einen weiteren wichtigen Faktor stellen die Beladungsfaktoren dar, die auch durch Maßnahmen beeinflusst werden können, z.B. durch eine Verbesserung der Logistikplanung als Folge eines Verkehrskostenanstieges.

Abbildung 3-6 Struktur des Güterverkehrsmodells in ASTRA



Quelle: Fraunhofer ISI.

### 3.2.1.3.3 Abgleich von ASTRA mit TREMOD sowie den Inventar- und Energiebilanzdaten

Für die weitere Verwendung der Ergebnisse dieses Projektes war es von Bedeutung die ASTRA Berechnungen mit den Ergebnissen des TREMOD Modells abzustimmen. Dies erfolgte in drei Schritten:

1. Abgleich der Verkehrsergebnisse von ASTRA mit Statistiken (für 2005) und den Rahmendatenprognosen (für 2020).
2. Abgleich der Energieverbräuche des Verkehrs für 2005 mit den Energiedaten aus den Treibhausgasinventaren sowie den Energiedaten der AG Energiebilanzen und des TREMOD Modells.
3. Abgleich der Prognose des Energieverbrauchs des Verkehrs für 2020 mit den Ergebnissen des TREMOD Modells.

Die Verkehrsergebnisse von ASTRA sind anhand europäischer Statistiken (EUROSTAT) bzw. von europäischen Verkehrsmodellen (SCENES Modell, ME&P 2000) kalibriert. Diese weichen zum Teil aufgrund von Abgrenzungsunterschieden und zum Teil durch die Nutzung unterschiedlicher Modelle zur Abschätzung der Daten von deutschen Statistiken und Modellen ab. Hier sei darauf hingewiesen, dass es für die wesentlichen Verkehrsindikatoren (Aufkommen, Verkehrsleistung, Fahrleistung) keine komplett erfassten Statistiken gibt, sondern die in Statistiken dargestellten Daten entweder aus Stichproben hochgerechnet sind oder aus Modellergebnissen von Netzwerkmodellen stammen. In beiden Fällen werden diese „Daten“ anhand von statistisch erfassten Eckwerten (im wesentlichen Kraftstoffverbrauch und Fahrzeugflotten) plausibilisiert. Neben der Abgrenzungsproblematik bildet die Modellbasiertheit der „Verkehrsstatistiken“ eine Ursache für Differenzen zwischen den deutschen und europäischen Statistiken und somit zwischen Abweichungen der europäischen ASTRA-Kalibrierung zu deutschen Statistiken.

Als erster Schritt der Harmonisierung der Energieverbräuche von ASTRA und TREMOD wurden die aggregierten Verkehrsergebnisse von ASTRA an die deutschen Statistiken angepasst. Hierbei wurde entlang der 4-Stufen Verkehrsmodellierung vorgegangen, d.h. mit der Anpassung des Aufkommens im wesentlichen durch Veränderung der personenbezogenen Fahrtraten und der wertbezogenen Volumenraten begonnen und mit der Anpassung der Verkehrsleistung durch Veränderung der durchschnittlichen Fahrtweiten fortgesetzt. Tabelle 3-3 zeigt die Ergebnisse der Anpassung für den Personenverkehr und Tabelle 3-4 für den Güterverkehr im Vergleich mit den Statistiken für 2005 und den Rahmendaten für 2020. Für 2005 belaufen sich die Abweichungen auf +/-3 % mit der Ausnahme des Aufkommens im Bahnverkehr. Für die Prognose liegen die Unterschiede in einem etwas größeren Bereich mit einer Spannweite von +/-5 % und größeren Abweichungen für Bus- und Bahnverkehr, wobei ASTRA eine niedrigere Entwicklung für den Busverkehr unterstellt. Dies ist zurückzuführen auf die demographische Entwicklung (weniger Ausbildungsverkehr) sowie der Wechselwirkungen mit der PKW-Besitzrate (mehr Senioren, die mehr PKW besitzen als heute und daher weniger Bus fahren). Dagegen wird für den Bahnverkehr aufgrund der Angebotsverbesserung

rungen eine positivere Entwicklung gesehen. Für den Luftverkehr wurde der Vergleich nicht in den Datenabgleich miteinbezogen, da in ASTRA nur der Intra-EU Luftverkehr modelliert wird, während die Rahmendaten sich auf den kompletten Luftverkehr inklusive der interkontinentalen Verbindungen beziehen. Berücksichtigt man die dynamischen Reaktionen des ASTRA-Modells und die damit verbundenen endogenen Veränderungen als Reaktionen auf Parameter-Anpassungen so kann die beschriebene Kalibrierung als geeignet für dieses Projekt und passend zu den vorgegebenen Rahmendaten eingeordnet werden.

**Tabelle 3-3 Anpassung des Personenverkehrs in ASTRA an die Rahmendaten**

	Aufkommen							Verkehrsleistung										
	ViZ		BM VBS		ASTRA			Abweichung in		ViZ		PSz-IV		ASTRA			Abweichung in	
			Mrd. Fahrten					%						Mrd. pkm			%	
	2005	2020	2005	2020	2030	2005	2020	2005	2020	2005	2020	2005	2020	2030	2005	2020		
PKW	56	61	58	58	55	3%	-5%	876	948	892	994	1006	2%	5%				
Bus	9,1	8,6	9,3	7,0	6,2	2%	-19%	82	89	83	67	63	0%	-25%				
Bahn	2,1	2,2	2,0	3,0	3,5	-6%	35%	77	104	78	103	108	2%	-1%				
Luft	0,12	0,19	0,05	0,07	0,07	n.a.	n.a.											
Fuß+Rad	31	30	31	32	33	-3%	7%											
Gesamt	99	102	100	100	97	1%	-2%	1035	1141	1053	1164	1178	2%	2%				

Quellen: ViZ = Verkehr in Zahlen 2008/2009 (DIW 2009), BMVBS = Verflechtungsprognose 2025 (IPT/BVU 2007), PSz-IV = Politikszenerarien IV (Öko-Institut et al. 2007), ASTRA = Ergebnisse des ASTRA Modells benutzt in PSz-V, Fraunhofer-ISI.

**Tabelle 3-4 Anpassung des Güterverkehrs in ASTRA an die Rahmendaten**

	Aufkommen						Verkehrsleistung									
	BMVBS		ASTRA			Abweichung	ViZ		BM VBS		ASTRA			Abweichung		
	Mio. Tonnen						%		Mrd. tkm						%	
	2004	2020	2004	2020	2030	2004	2020	2005	2020	2005	2020	2030	2005	2020		
Bahn+Binnenschiff	558	673	549	700	720	-2%	4%	160	213	158	218	235	-1%	2%		
LKW Gesamt	3065	3697	3055	3526	3596	0%	-5%	403	626	410	637	730	2%	2%		
LKW Fernv.	1450	2049	1425	1890	1958	-2%	-8%									
LKW Nahv.	1615	1648	1630	1631	1638	1%	-1%									
Gesamt	3623	4371	3604	4226	4316	-1%	-3%	562	839	568	854	965	1%	2%		

Quellen: ViZ = Verkehr in Zahlen 2008/2009 (DIW 2009), BMVBS = Verflechtungsprognose 2025 (IPT/BVU 2007), ASTRA = Ergebnisse des ASTRA Modells benutzt in PSz-V, Fraunhofer-ISI.

Aufbauend auf dem dargestellten Mengengerüst der Verkehrsindikatoren wurden mit ASTRA die Energieverbräuche für das MMS bestimmt und mit den Ist-Daten der Treibhausgasinventare und der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen sowie des TREMOD-Modelles verglichen (siehe Tabelle 3-5). Für 2005 ergeben sich nur geringe Abwei-

chungen. Für die weiteren Abschätzungen des Energieverbrauches wurde die Differenz von ASTRA zur AG-Energiebilanz für 2005 als konstanter Offset zu den ASTRA-Ergebnissen hinzugerechnet. Die Prognose bis 2020 zeichnet sich vor allem dadurch aus, das in ASTRA der Trend zum Diesel-PKW abebbt, so dass sich der Benzinverbrauch nicht so deutlich verringert wie in TREMOD und sich der Dieserverbrauch nur geringfügig erhöht gegenüber 2005. Außerdem wird in ASTRA die im MMS unterstellte Biokraftstoffquote abgebildet.

Tabelle 3-5 Anpassung des Energieverbrauchs in ASTRA an Rahmendaten

	AG Energiebilanzen	TREMOD	ASTRA	
	2005	2020	2005	2020
	<b>PJ</b>			
Benzin	1.008	588	1.018	793
Diesel	1.108	1.475	1.076	1.124
LPG	3	n.a.	2	1
Erdgas	3	n.a.	2	33
(Bio-) Ethanol	n.a.	29	3	131
FAME (Biodiesel)	71	152	71	177
Pflanzenöl	7	9	7	9
Methanol	0	0	0	0
Wasserstoff	0	0	0	0
Strom	59	48	55	74
Summe (ohne Kerosin)	2.258	2.300	2.233	2.341

Quellen: AG Energiebilanzen (2008), TREMOD (persönliche Mitteilung ifeu/UBA 2009), ASTRA = Ergebnisse des ASTRA Modells benutzt in PSz-V, Fraunhofer-ISI.

Mit den vorliegenden Zahlen bzgl. der Verkehrs- und Fahrleistungen sowie dem Energieverbrauch lässt sich im Umkehrschluss auch der durchschnittliche Energieverbrauch der einzelnen Straßenverkehrsmittel berechnen und mit den statistischen Werten vergleichen. Für 2005 ist die Übereinstimmung des durchschnittlichen Verbrauches für PKW gegeben. Tabelle 3-6 zeigt außerdem die Effizienzverbesserungen in der Flotte von 2005 bis 2020 für PKW und Nutzfahrzeuge in ASTRA. Die größte Steigerung wird für Benzin-PKW erwartet, während insbesondere für diesetriebene Nutzfahrzeuge deutlich geringere Verbesserungen abgeschätzt werden, da aufgrund des Kostendrucks im Güterverkehr die Effizienzpotentiale bereits stärker ausgeschöpft wurden und im MMS auch keine effektive Maßnahme auf die Nutzfahrzeuge angesetzt ist.

Tabelle 3-6 Entwicklung der Effizienz bei Straßenfahrzeugen im MMS

	ViZ	ASTRA		Effizienzverbesserung 2005 zu 2020
	2005	2005	2020	
	l / 100km			%
PKW				
Benziner	8,3	8,5	7,5	12,1%
Diesel	6,8	6,6	5,9	10,7%
Leichte Nutzfahrzeuge				
Benziner		10,8	9,7	10,0%
Diesel		17,4	16,4	5,6%
Schwere Nutzfahrzeuge		42,6	39,6	7,1%

Quellen: ViZ = Verkehr in Zahlen 2008/2009 (DIW 2009), ASTRA = Ergebnisse des ASTRA Modells benutzt in PSz-V, Fraunhofer-ISI.

### 3.2.1.3.4 Methodische Ansätze für die Analyse des MMS für den Verkehrssektor

Das ASTRA-Modell wurde exakt an das Mengengerüst des Ist-Standes der Energieverbrauchsdaten aus den deutschen Treibhausgasinventaren bzw. den deutschen Energiebilanzen sowie an das TREMOD-Modell für das MMS angepasst (siehe Tabelle 3-5). Die Verkehrsleistung im MMS ergibt sich aus den Vorgaben für die Rahmendaten (Tabelle 3-1 und Tabelle 3-2). Die verschiedenen Maßnahmen wurden unterschiedlich gerechnet. Die ökologische Steuerreform sowie die Ausdehnung der LKW-Maut wurden schon in Rahmen von Politiksznarien IV gerechnet, diese Ergebnisse wurden hier verwendet. Das Biokraftstoffquotengesetz und die CO<sub>2</sub>-Strategie PKW wurden auch in Politiksznarien IV gerechnet, aber mit anderer Stärke, d. h. Parametrisierung. Deshalb wurden die Rechnungen von Politiksznarien IV als Anfangspunkt benutzt, die Energie- und CO<sub>2</sub>-Ersparnisse jedoch neu berechnet.

Die LKW-Maut (Spreizung im MMS und Ausdehnung im SWS) wurden mit einem Fahrzeugflottenmodell, das die Nachfrage, sämtliche Betriebskosten sowie durchschnittliche Auslastung und Fahrzeugleistung und die technologische Entwicklung der LKWs betrachtet, gerechnet.

Die CO<sub>2</sub>-basierte Kfz-Steuer und das CO<sub>2</sub>-Labelling für PKW wurden mit dem ASTRA-Modell gerechnet. Die Kfz-Steuer wirkt sich auf die Relativkosten aus und beeinflusst die Kaufentscheidungen über neue Autos. Das CO<sub>2</sub>-Labelling übt auch einen Einfluss auf die Kaufentscheidung aus, denn es erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass die Konsumenten saubere Autos kaufen.

Die Abschaffung der Stromsteuer für Züge wurde mit ASTRA gerechnet. Die Änderung der Betriebskosten verursacht eine Änderung des Modal Split zugunsten des Bahnverkehrs und damit eine Verringerung des Straßenverkehrs im Passagier- und Güterbereich. Es wurde dabei angenommen, dass diese Maßnahme die Preise des Güterverkehrs im gleichen Maß senkt wie die abgezogene Besteuerung.

### 3.2.1.3.5 Methodische Ansätze für die Analyse des SWS für den Verkehrssektor

Von den sieben Maßnahmen des SWS konnten vier mit dem neu angepasste ASTRA Modell abgeschätzt werden (Abschaffung der Stromsteuer für den Bahnverkehr, forcierte CO<sub>2</sub>-Strategie PKW, Anpassung Dienstwagenbesteuerung, Tempolimit PKW und leichte Nutzfahrzeuge (LNF)), während die anderen Abschätzungen (Mehrwertsteuer für den internationalen Flugverkehr und Kerosinsteuer, Ausdehnung der LKW-Maut) mit Partialmodellen durchgeführt wurde.

Die **Einführung der Mehrwertsteuer auf den internationalen Flugverkehr** wurde als Kostenerhöhung betrachtet. Hier wurde eine durchschnittliche Preis-Elastizität (-0.375) von SEC (2006) genutzt, um die resultierende Änderung der Nachfrage zu berechnen. Diese Preis-Elastizität wurde als konstant angenommen.

Die **Ausdehnung der LKW-Maut** wurde mit einem Fahrzeugflottenmodell, das die Nachfrage, sämtliche Betriebskosten sowie durchschnittliche Auslastung und Fahrzeugleistung und die technologische Entwicklung der LKWs erfasst, gerechnet.

Die **Abschaffung der Stromsteuer für den Bahnstromverbrauch** wurde mit ASTRA modelliert. Die Änderung der Betriebskosten verursacht hier eine Änderung des Modal Split zugunsten des Bahnverkehrs und damit eine Verringerung des Straßenverkehrs im Personen- und Güterbereich.

Die **forcierte CO<sub>2</sub>-Strategie für PKW** zur Erreichung von 95 g CO<sub>2</sub>/km in 2020 und 80 g CO<sub>2</sub>/km in 2030 wurde mit dem neu-kalibrierten ASTRA Modell abgeschätzt. Die Analyse dieser Maßnahme baut auf vier zentralen Komponenten auf:

- Entwicklung von energiesparenden Technologien nur im PKW-Antriebsstrang,
- zusätzliche Investitionen der Autoindustrie zur Technologieentwicklung und -produktion,
- zusätzlichen Investitionskosten der PKW-Nutzer,
- Kraftstoffeinsparungen der PKW-Nutzer, die durch den verstärkten Einsatz von Kraftstoff sparenden Technologien im Antriebsstrang über die Lebensdauer eines PKWs entstehen (bei gleichbleibender Zusammensetzung der Struktur der Neuwagenflotte).

Da die Auswirkungen einer CO<sub>2</sub>-Strategie für PKW schon im MMS mit ASTRA gerechnet wurden, liegen die notwendigen Einflussparameter schon im Modell vor. Diese sind die erhöhten Produktionskosten und die verbesserte Effizienz der Euro 6 und nachfolgende PKWs. ASTRA nimmt keine kontinuierliche Verbesserung an, sondern bildet eine Reihe von Kohorten die zusammen die Gesamtflotte abbilden. Der Stand des Energieverbrauchs in 2005 und die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Strategie im MMS wurden als Basis genommen. Die weitere Reduktion lässt sich dann ab 2010 auf den Zielpfad bis 2020 mit dem Ziel 95 g CO<sub>2</sub>/km 2030 und mit dem Ziel 80 g CO<sub>2</sub>/km zurückführen. In diesem Zeitabschnitt beeinflussen gegenläufige Effekte die Maßnahmewirkung. Zum Einen ist der Zeitraum 10 Jahre länger und damit wird die jährlich erforderliche Reduktion geringer bzw. liegt näher an der autonomen Entwicklung, zum Anderen sind die

einfacher zu hebenden Einsparpotentiale vermutlich bereits verwirklicht, so dass sich zusätzliche Potentiale dann eher durch einen Übergang zu anderen Antriebskonzepten wie Brennstoffzellen oder Batterien mit größerem Aufwand gegenüber den zuerst erschlossenen Verbesserungen der Verbrennungsmotoren verwirklichen lassen. Hier könnten zusätzliche Gewichtsbeschränkungen für PKW und das Tempolimit das Heben weiterer Effizienzpotentiale erleichtern.

Derzeit sind Dienstwagen in Deutschland besteuert, ohne direkt den CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu berücksichtigen. Um den CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu mindern, ist eine **Anpassung der Dienstwagenbesteuerung**, die auch für Dienstwagen auf deren CO<sub>2</sub>-Ausstoß basiert, wünschenswert.

Eine solche Steuer ist in Großbritannien 2002 in Kraft getreten. Die Besteuerung basiert auf den Anschaffungskosten und der Steuerklasse der Person und wird entsprechend dem CO<sub>2</sub>-Ausstoß gespreizt. Diese neue Besteuerung sollte einen Anreiz für den Kauf effizienter Autos schaffen, Anreize für Autohersteller setzen, effizientere Autos herzustellen, und die vorherige Subvention von Geschäftsfahrten abschaffen (HM Treasury, 1999). Die Umsetzung erfolgte einkommensneutral. Zusammen mit der britischen Kfz-Steuer (‘Vehicle Excise Duty’, VED), welche ebenfalls seit 2002 auf CO<sub>2</sub>-Emissionen basiert, wurde durch die neue Besteuerung im Jahre 2005 eine Minderung von 0,2-0,3 MtC erreicht (UKERC 2008).

Die Wirkung einer geänderten Dienstwagenbesteuerung in Deutschland mit einer Spreizung nach CO<sub>2</sub>-Ausstoß wurde im SWS gerechnet. Die Spreizung der Kfz-Steuer in Großbritannien wurde im ASTRA Modell für Dienstwagen implementiert (siehe unten). Weil die detaillierten Steuerklassen für die Bevölkerung in Deutschland nicht im Modell implementiert sind, wurde ein einfacheres System in ASTRA implementiert, bei dem der Anteil der Dienstwagen in Deutschland auf Basis der Statistik des Kraftfahrzeug-Bundesamtes (KBA) berücksichtigt wurde und die Veränderung der so ermittelten Steuersätze auf den gesamten PKW-Kauf angewendet wurde.

ASTRA enthält den Verbrauch für PKW mit verschiedenen Treibstoffarten nach Euro-Normklassen und berechnet die Zusammensetzung und Größe der resultierenden deutschen PKW-Flotte. Die Implementierung der Besteuerung wurde erst als einkommensneutral berechnet, d.h. für die bereits bestehenden Steuern wurden die Steuersätze angepasst, so dass die Gesamteinnahmen mit der Einführung der neuen Dienstwagenbesteuerung konstant blieben. Um eine einkommensneutrale Besteuerung effektiv zu gestalten, musste in Deutschland die Spreizung nach CO<sub>2</sub>-Ausstoß stärker ausfallen als in Großbritannien.

Die Auswirkung des **Tempolimits von 130 km/h auf Autobahnen** wurde mit dem neu kalibrierten ASTRA Modell gerechnet. Die Beschränkung bezieht sich sowohl auf leichte Nutzfahrzeuge (weniger als 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht) als auch auf PKWs. Die Verteilung der Geschwindigkeiten auf Autobahnen wurde vom Kraftfahrtbundesamt abgeschätzt. Danach wurden die COPERT 4-Gleichungen (EEA 2007) für die Beziehung zwischen Geschwindigkeit und CO<sub>2</sub>-Ausstoß für Diesel- und Benzin sowie auch alternative Kraftstoffe (CNG, LPG) für PKWs sowie kleine LKWs benutzt, um die pro-

portionale Minderung für die Fahrzeuge zu rechnen. Diese Minderungen für PKWs und leichte LKWs wurde im ASTRA Modell eingeführt um unter Berücksichtigung der Verkehrsleistung die Minderung des Treibstoffverbrauchs zu berechnen.

Die **Kerosinbesteuerung** wurde nicht in ASTRA abgeschätzt, weil die Implementierung der Maßnahme eine weitere Detaillierung von ASTRA erfordert hätte (z.B. um das sogenannte Billigflugsegment separat abzubilden). Daher wurde das Partial-Modell, das für PSz-IV aufgebaut wurde, nochmals verwendet, welches die Kostenänderung durch die Kerosinbesteuerung und die Wirkung der Kostenänderung auf verschiedene Segmente des Luftverkehrsmarktes abschätzt. Das Partial-Modell benutzt die linear vereinfachende Näherung zur Elastizität, nach derer die Nachfrageänderung eine lineare Beziehung zur Preisänderung besitzt.

Das bedeutet, sowohl Veränderungen innerhalb des Verkehrssystems (z.B. Modalshift zu anderen Verkehrsträgern) als auch ökonomische Sekundäreffekte in anderen Sektoren bleiben bei der Modellierung unberücksichtigt. Die beiden Eckpunkte des Partialmodells bilden (a) die Entwicklung des Luftverkehrs und seines Energieverbrauchs im Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS), sowie (b) die Preis-Elastizitäten der Luftverkehrsnachfrage in Verknüpfung mit den technischen Parametern der verschiedenen Nachfragesegmente. Die Preiselastizitäten der Nachfrage werden zum einen in Anlehnung an Studien gewählt, die sich mit der Einbeziehung des Luftverkehrs in den EU-ETS beschäftigen (TRUCOST 2004, CE 2005), und zum anderen wird auf eine Meta-Studie zurückgegriffen, die eine große Zahl von Detailstudien mit Fokus Luftverkehr analysiert hat (Gillen et al. 2004).

Die Studien bescheinigen große Unterschiede der Elastizitäten der verschiedenen Segmente: Geschäftsreiseflüge weisen grundsätzlich eine niedrigere Elastizität auf als touristisch motivierte Flüge; das sogenannte Billigflugsegment (z.B. Ryanair, EasyJet) weist eine wesentlich höhere Elastizität auf als Flüge in Preisklassen, die von den sogenannten Flaggen-Fluggesellschaften (z.B. Lufthansa, Air France, British Airways) angeboten werden; und je kürzer die geflogene Strecke desto größer die Elastizität, was sich unter anderem über die bessere Verfügbarkeit von Alternativen erklären lässt. Weil aber die Besteuerung für die Berechnung des Strukturwandelszenarios deutlich erhöht wird, ist diese Methodik nicht mehr einfach verwendbar. Eine Rechnung der Nachfrageänderung durch eine konstante Elastizität ist nur korrekt für marginale Preisänderungen.

Der Steuersatz von 65,4 ct/l entspricht einer sehr starken Kostenerhöhung. Bei einem Kerosinpreis um \$50/Barrell wird eine solche Steuer die Kerosinkosten der Fluggesellschaften um rund 200 % erhöhen. Die Kerosinkosten belaufen sich auf knapp ein Drittel der Gesamtkosten der Fluggesellschaften. Deswegen wird die Kerosinsteuer von 65,4 ct/l die Gesamtkosten der Fluggesellschaften und damit auch die Ticketpreise um rund 60-70% erhöhen. Daraus ergibt sich, dass eine solche Kerosinsteuer eine viel stärkere Maßnahme darstellt als die Erhöhung der Ticketpreise um 19 % durch Einführung der Mehrwertsteuer für internationale Flüge.

Bei einer Einführung der Kerosinsteuer ist deshalb von einer Änderung der Struktur der Nachfrage im Flugverkehr auszugehen. Deswegen sind die Elastizitäten in den Berechnungen nicht konstant gehalten, sondern für die besonders sensitiven Segmente angepasst worden, so dass für diese Segmente bei einer Abnahme von über 60 % der weitere Nachfragerückgang gedämpft wird. Trotz dieser Anpassung zeigt diese Maßnahme große Auswirkungen. Bei dieser einfachen Methodik ist das genaue Einsparungsergebnis nicht sehr zuverlässig abzuschätzen, jedoch wird eine solch große Preisänderung unbedingt zu einer sehr starken Minderung der Luftfahrtnachfrage führen.

### 3.2.1.4 Annahmen und Parameter

Über die Rahmendaten sowie die in den Abschnitten 3.2.1.2.2 und 3.2.1.2.3 beschriebenen Annahmen hinaus wurden folgende Spezifikationen für die verschiedenen Maßnahmen getroffen:

**CO<sub>2</sub> Strategie PKW:** Die Basisgrößen zur Abschätzung der Maßnahme 16 beinhalten die Entwicklung der PKW-Neuzulassungen bis 2030, die Entwicklung der Kosten- und Emissionsparameter von PKW (TNO 2006) unter den verschärften Bedingungen der Maßnahme und die Entwicklung der Kraftstoffpreise (siehe Kapitel 2.2.1). Die zusätzlichen Kosten neuer PKWs sind in Tabelle 3-7 dargestellt.

Tabelle 3-7 *Zusätzliche Investitionskosten für neue PKWs*

Triebstoff und Hubraumklasse	2010	2015	2020	2025	2030
	€/ PKW				
Benzin < 1400ccm	954	1.320	1.834	1.671	1.590
Benzin >= 1400 - 2000ccm	1.072	1.589	2.263	2.086	2.006
Benzin > 2000ccm	1.409	2.253	3.296	3.066	2.970
Diesel < 2000ccm	590	967	1.285	1.125	1.040
Diesel > 2000ccm	843	1.304	1.707	1.486	1.367
CNG	390	553	805	627	509
LPG	390	553	805	627	509
HYB	390	553	805	627	509

Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI

Für die Spreizung nach CO<sub>2</sub> Emissionen für die **Dienstwagenbesteuerung** wurden die Werte der Kfz-Steuer in Großbritannien, wie in Tabelle 3-8 für die verschiedenen Bänder der Vehicle Excise Duty (VED) für Neuwagen angeschafft nach dem 1 März 2001 dargestellt, genutzt. Die angegebenen Steuersätze beziehen sich auf die Jahre 2008/2009. Diese Steuersätze wurden im ASTRA Modell für die Dienstwagen implementiert.

**Tabelle 3-8** Jährliche Kfz-Steuer nach CO<sub>2</sub> Emissionen in Großbritannien

VED (Vehicle Excise Duty) - Band	CO <sub>2</sub> -Ausstoß	2008-09*
	g/km	
A	Bis 100	£0
B	101-120	£35
C	121-150	£120
D	151-165	£145
E	166-185	£170
F**	Größer 185	£210
G	Größer 225	£400

\* Alternativtreibstoff-Rabatt: A-E £20, F-G £15  
 \*\* Einschließlich Autos mit einem Ausstoß größer 225 g/km, die zwischen dem 1.März 2001 und 23.März 2006 gekauft wurden.

Quelle: <http://www.bbc.co.uk/home/> nach UK budget 2006

Für die Bewertung des **Tempolimits** wurde der Anteil der Autobahnen an der Fahrleistung sowie die Verteilung der Geschwindigkeiten auf Autobahnen benötigt. Erstere wurde in Anlehnung an KBA-Statistiken übernommen und die Konsistenz mit den ASTRA Ergebnissen sichergestellt. Die Verteilung der Geschwindigkeiten auf Autobahnen entstammt einer aktuellen Umfrage und ist entsprechend mit Unsicherheiten behaftet (siehe Tabelle 3-9).

**Tabelle 3-9** Verteilung der Geschwindigkeiten auf deutschen Autobahnen

	<110	110-130	130-150	150-170	170+	Unsicher
	km / h					
Anteil [%]	2	22	33	16	7	6

Quelle: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/1359/umfrage/normale-geschwindigkeit-auf-autobahn-ohne-tempolimit/#stat>.

Daneben ist der Befolgungsgrad ein wichtiger Parameter. Ein hoher aber wissenschaftlich vertretbarer Befolgungsgrad von 80 % wurde nach ECMT (2006) und UBA (1999) angenommen.

### 3.2.1.5 Ergebnisse der Projektionen

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

Die Wirkungen der individuellen Maßnahmen des MMS wurden für den Projektionsbericht (Öko-Institut et al. 2009) berechnet und hier übernommen. Für das MMS wurde nur der Gesamtenergiebedarf mit der neuen Kalibrierung des ASTRA Modells gerechnet, um als Vergleichsbasis für die Effekte des SWS zu dienen. Tabelle 3-10 und Tabelle 3-11 stellen die Einsparungen der einzelnen Maßnahmen im MMS dar. Tabelle 3-12 zeigt die Gesamtenergienachfrage für den Verkehrssektor im MMS. Mit den getroffenen Annahmen zeigen die Einzel-Einsparungen, dass die wichtigsten Maßnahmen das Biokraftstoffquotengesetz und die CO<sub>2</sub>-Strategie für PKW sind. Insbesondere die Spreizung der LKW-Maut ergibt relativ geringe Reduktionen, weil LKW-Motoren schon hoch entwickelt sind und im Gegensatz zu PKWs keine neuen Technologien wie

elektrische Antriebe oder Wasserstoff vorgesehen sind. Die Euronormen besitzen keine CO<sub>2</sub>-Komponente und daher sind die CO<sub>2</sub>-Emissionsverbesserungen zwischen den verschiedenen Stufen sehr klein. Außerdem setzt die Spreizung keine Anreize zur Vermeidung und Verlagerung von Güterverkehr. Um die Energienachfrage des Güterverkehrs wesentlich zu verringern, muss neben kostenintensiveren technischen Maßnahmen, die entweder einer entsprechenden Regulierung bedürfen oder stärkeren Preissignalen, eine signifikante Verlagerung auf die Schiene und Binnenschifffahrt stattfinden.

Im MMS bleiben im Jahr 2030 Benzin und Diesel die Hauptenergieträger im Landverkehr. Die Kerosinnachfrage zeigt einen sehr großen Zuwachs wegen der angenommenen Steigerung der Luftverkehrsnachfrage.

Tabelle 3-10 Energieeinsparung durch das Mit-Maßnahmen-Szenario

Maßnahmen	2010	2015	2020	2030
	PJ			
Ökologische Steuerreform 1999 bis 2003	-35,1	-35,4	-34,7	
Stärkere Spreizung der LKW-Maut	-2,7	-2,7	-4	
Biokraftstoffquotengesetz für 2020 von 14 %	-4,1	-17,9	-54,1	Nicht individuell gerechnet
CO <sub>2</sub> -Strategie für PKW: 2012 von 130 g CO <sub>2</sub> /km statt 140	-34,4	-69,3	-83,4	
Kfz-Steuer auf eine schadstoff- und CO <sub>2</sub> -bezogene Bemessungsbasis	-23,6	-45,9	-43,1	
Verbrauchs- und CO <sub>2</sub> -Emissionskennzeichnung für neue PKW	-18,1	-43,1	-48,6	

Quelle: UBA 2009 – übermittelte Ergebnisse des TREMOD-Modells, Öko-Institut et al. (2009).

Tabelle 3-11ergänzt die Ergebnisse um eine Abschätzung der synergetischen Wirkung der Maßnahmen, in der Tabelle ausgewiesen als gewichtete Summe. Da alle Maßnahmen bis auf die LKW-Maut in ASTRA implementiert wurden, lassen sich diese nicht nur einzeln testen, sondern auch gleichzeitig in einer einzigen Simulationsrechnung darstellen. In diesem Fall können sich Wirkungen von Maßnahmen kompensieren oder verstärken. Letzteres konnte für das Maßnahmenbündel des MMS festgestellt werden, da die CO<sub>2</sub>-Einsparung der Summe der Einzelmaßnahmen sich im Jahr 2020 auf etwa 26 Mio. t CO<sub>2</sub> beläuft, die gleichzeitige Simulation aber zu 28 Mio. t CO<sub>2</sub> Einsparungen führt. Damit ergeben sich weitere Einsparungen von etwa 2 Mio t CO<sub>2</sub> die sich auf Synergien zwischen den Maßnahmen zurückführen lassen.

Tabelle 3-11 Maßnahmenspezifische Minderung der Treibhausgasemissionen im MMS

Maßnahme/ Umsetzung/ Institution	Typ	Beschreibung/Ziele (Wirkungsbereich)	Umsetzungs- stand (Wirkungs- beginn)	Direkte Emissionsminderungseffekte			
				2010	2015	2020	2030
				Mio. t CO <sub>2</sub> -Äqu.			
Ökosteuer 99-03	F	Ökologische Steuerreform auf Autos für den Zeitraum 1999 bis 2003 mit einer Erhöhung von 3,07 ct pro Liter und Jahr (zusammen 15,34 ct/l ab 2003)	1999	-2	-2	-2	Nicht individuell gerech-net
Spreizung LKW- Maut	V	Stärkere Spreizung der Mautsätze der LKW-Maut auf Bundesautobahnen für LKW über 12 t zulässigem Gesamtgewicht (zGG) ab Mai 2008 (für Dreiachser: 0,106-0,127-0,159-0,207 €/km je nach Schadstoffklasse)	Wirkung auf Neuwagen ab 2008	-0,2	-0,2	-0,3	
Biokraftstoffquote ngesetz	R	Umsetzung des Biokraftstoffquotengesetzes vom Dezember 2006 mit der Beimischungspflicht von Biokraftstoffen zu Benzin (Ethanol) und Diesel (RME, BTL). Die zu erreichenden Anteil von Biokraftstoffen sind für 2010 von 6,75%, für 2015 von 8%, für 2020 von 17% gemessen als Volumenanteil bzw. für 2020 von 14% gemessen als Energieanteil.	Wirkung auf Kraftstoff- preise ab 2006, steigend bis 2020 und dann konstant.	-7,1	-6,7	-10,5	
CO <sub>2</sub> -Strategie PKW d.h. CO <sub>2</sub> Emissions- grenzwerte	E	Umsetzung der CO <sub>2</sub> -Strategie für PKW durch Einführung von CO <sub>2</sub> Emissionsobergrenzen, die zu einem Durchschnitt der CO <sub>2</sub> -Emissionen der deutschen Neuwagenflotte im Jahr 2012 von 130 g CO <sub>2</sub> /km führen. Diese Absenkung soll durch motorische/antriebsseitige Maßnahmen erreicht werden.	Wirkung ab 2008.	-2,5	-5,0	-6	
CO <sub>2</sub> basierte Kfz- Steuer	F	Umstellung der Kfz-Steuer auf eine schadstoff- und CO <sub>2</sub> -bezogene Bemessungsbasis ab 1.1.2009.	Wirkung ab 2009	-2	-3	-3	
CO <sub>2</sub> Labelling PKW	E	Einführung einer eindeutigen Verbrauchs- und CO <sub>2</sub> -Emissionskennzeichnung für neue PKW ab 1.8.2008. Effizienzklasse A für PKW mit 1000kg Leergewicht bei weniger als 111,5 g CO <sub>2</sub> /km, mit 1500kg Leergewicht bei weniger als 143,5 g CO <sub>2</sub> /km und mit 2000kg Leergewicht bei weniger als 175,5 g CO <sub>2</sub> /km.	Wirkung ab 2008.	-1	-3	-4	
<b>Ungewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen</b>				-15,0	-21,0	-26,0	
<b>Gewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen (ohne Überlagerungseffekte)</b>				-16,3	-22,8	-28,0	

Quelle: UBA 2009 – übermittelte Ergebnisse des TREMOD-Modells, Öko-Institut et al. 2009.

### Vergleich des aktualisierten MMS mit den TREMOD Ergebnissen

Die Ergebnisse der MMS Energienachfrage im Verkehrsbereich mit dem neu kalibrierten ASTRA Modell sind in Tabelle 3-12 dargestellt. Diese Ergebnisse unterscheiden sich von UBA-Berechnungen mithilfe des TREMOD-Modells Für das Jahr 2005 sind die Daten beider Szenarien sehr ähnlich, da sie auf Grundlage der Ist-Daten für 2005

kalibriert wurden. Die Summen der Diesel und Biodieselnachfrage in 2020 liegen nah beieinander, die Summe der Kraftstoffverbrauchsdaten für Benzin, Bioethanol, LPG und CNG Kraftstoffe liegen im ASTRA Modell etwas höher, was auf geringeren Effizienzgewinne dieser Fahrzeuge und einem höheren Marktanteil zurückzuführen ist. Damit ist die gesamte Energienachfrage des Verkehrs nach den Ergebnissen des TREMOD Modells für 2020 um etwa 8 % geringer als im ASTRA-Modelllauf für das MMS in diesem Bericht.

Tabelle 3-12 Verkehrsenergienachfrage im MMS (ohne bauwirtschaftlichen Verkehr und Pipeline-Transport)

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	PJ						
Benzin	1.238	1.008	925	896	784	682	570
Diesel	1.145	1.108	1.178	1.192	1.156	1.123	1.061
LPG	0	0	0	2	1	1	1
CNG	1	2	11	23	33	34	29
(Bio)ethanol	0	0	28	89	128	146	154
Biodiesel FAME	8	71	97	141	177	201	219
Pflanzenöl	0	7	8	8	9	9	9
Wasserstoff	0	0	0	0	0	0	0
Strom	57	59	70	71	77	86	97
Kerosin (national)	59	69	81	92	104	115	125
Kerosin (international)	238	275	323	370	415	459	500
Summe	2.747	2.600	2.722	2.884	2.884	2.856	2.764
Summe (national)	2.509	2.324	2.399	2.514	2.469	2.398	2.264

Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI und Öko-Institut.

### 3.2.1.5.2 Strukturwandel-Szenario (SWS)

In Tabelle 3-13 und Tabelle 3-15 sind die Einsparungen für die individuellen Maßnahmen im SWS dargestellt. Abbildung 3-7 zeigt die Verteilung der Einsparungen nach Kraftstoffart.

Die Einführung der Mehrwertsteuer auf den internationalen Flugverkehr und die Abschaffung der Stromsteuer auf den Bahnstromverbrauch führen im Vergleich zum MMS zu geringeren Einsparungen. Die Einführung der Mehrwertsteuer auf den internationalen Luftverkehr zeigt zwar erkennbare Wirkungen (für den Kerosinverbrauch im internationalen Luftverkehr), das Wachstum der Luftverkehrsemissionen wird dennoch nur abgeschwächt. Die Abschaffung der Stromsteuer für die Bahnstromversorgung zeigt nur schwache Effekte, da sie keine großen Änderungen der relativen Kosten bewirkt. Sie dürfte allerdings eine Voraussetzung für die durch die LKW-Maut ausgelösten Verkehrsverlagerungen bilden.

Zu den Maßnahmen mit sehr starken Wirkungen gehören die Ausweitung der LKW-Maut, die Verschärfung der CO<sub>2</sub>-Strategie für PKW, das Tempolimit auf Autobahnen, die durchgängige Besteuerung des Kerosinverbrauchs sowie die Anpassung der Besteuerung von Dienstwagen. Die stärkste Maßnahme ist die Kerosinbesteuerung, der Wachstumstrend der Luftverkehrsemissionen (national und international) wird damit

gebrochen. Auch die Verschärfung der CO<sub>2</sub>-Strategie für PKW erweist sich im Zeitverlauf als eine herausragende Maßnahme. Um die entsprechenden Verbesserungen zu erreichen, müssen flankierende Maßnahmen (z.B. Technologieförderung, starke Spreizung der KFZ-Steuer für private PKW, Verbrauchskennzeichnungen usw.) ergriffen werden, die zur Gesamtwirkung beitragen. Auch die Anpassung der Besteuerung von Dienstwagen und das Tempolimit auf Autobahnen erbringen signifikante Einsparungen für die Energienachfrage im Verkehr und bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Tabelle 3-13 *Energieeinsparung durch das Strukturwandel-Szenario*

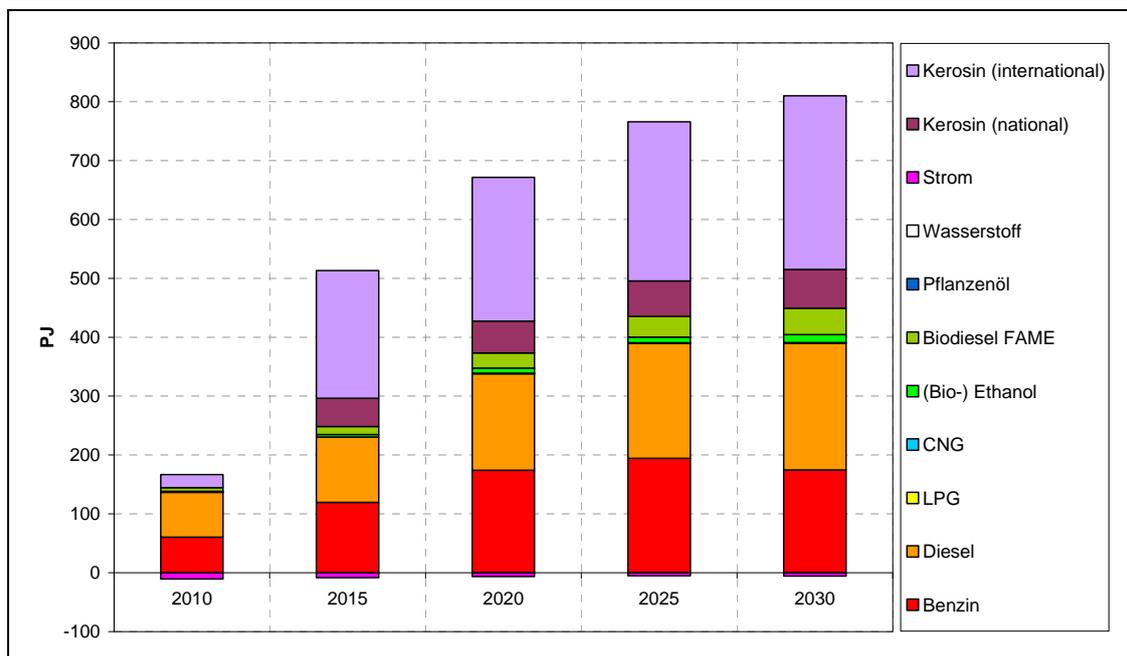
	2010	2015	2020	2025	2030
	PJ				
Mehrwertsteuer auf Flugverkehr	22,3	25,2	27,5	29,4	31,0
Ausdehnung LKW-Maut	9,0	27,2	72,5	113,1	162,0
Abschaffung Stromsteuer Bahnverkehr	13,0	12,0	12,6	13,3	12,7
CO <sub>2</sub> -Strategie PKW verschärft	1,8	67,8	123,2	146,4	123,7
Anpassung der Besteuerung von Dienstwagen	0,1	19,7	47,9	54,0	52,9
Kerosinsbesteuerung gesamt	0,0	239,9	270,9	301,1	329,8
Tempolimit auf Autobahnen	110,1	113,3	110,5	103,5	92,2

Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI

Die Gesamtwirkungen der Maßnahmen spiegeln sich auch in der Struktur der Einsparungen nach Kraftstoffen bzw. Energieträgern wieder. Der Kerosinverbrauch des internationalen Luftverkehrs nimmt am stärksten ab. Daraus ergibt sich, dass eine solche Kerosinsteuer eine viel stärkere Maßnahme darstellt als die Erhöhung der Ticketpreise auf internationale Flüge um 19 % durch Einführung der Mehrwertsteuer für internationaler Flüge. Da beide Luftfahrtmaßnahmen auf den Preis wirken, existiert eine Überschneidung zwischen diesen beiden Maßnahmen. Die Kerosinbesteuerung wird nach einer Elastizitätsrechnung weniger Auswirkung haben, als wenn es die Mehrwertsteuer nicht gibt. Dieser Effekt ist berücksichtigt, da die Elastizitäten für die Kerosinbesteuerung nicht konstant gehalten wurden.

Im Straßenverkehr reduziert sich die Benzinnachfrage stärker ab als der Dieselinverbrauch, wobei dies aus verschiedenen Effekten resultiert. Die Dienstwagenbesteuerung und das Tempolimit führen in 2010 zu einem ungefähr gleichen Abbau der Benzin- und Dieselnachfrage. Danach vergrößert sich der Rückgang der Benzinnachfrage, da die CO<sub>2</sub>-Strategie v.a. auf neue PKW wirkt. Entsprechend ändert sich die Flottenstruktur. PKW haben im Durchschnitt eine Lebensdauer von ungefähr 11 Jahren, d.h. das die Flottenstrukturänderung durch Maßnahmen, die in 2010 anfangen, zieht sich bis ungefähr 2020 hin. Da für Benzinmotoren größere technische Fortschritte als für Dieselmotoren erwartet werden, nimmt die Nachfrage nach Benzin schneller ab als bei Diesel. Damit vergrößert sich der Anteil der Benzineinsparungen von 2010 bis 2025.

Abbildung 3-7 Energieeinsparungen zwischen dem SWS und dem MMS im Verkehr nach Kraftstoffarten und Energieträgern



Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI.

Tabelle 3-14 Verkehrsenergienachfrage im SWS (ohne bauwirtschaftlichen Verkehr und Pipeline-Transport)

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	PJ						
Benzin	1.238	1.008	864	776	610	488	395
Diesel	1.145	1.108	1.102	1.081	992	928	846
LPG	0	0	0	2	1	1	1
CNG	1	2	11	23	32	33	27
(Bio-) Ethanol	0	-0	27	84	120	137	140
Biodiesel FAME	8	71	91	128	152	166	174
Pflanzenöl	-	7	8	8	9	9	9
Wasserstoff	-	-	-	-	-	-	-
Strom	57	59	81	79	83	91	103
Kerosin (national)	59	69	81	45	49	54	59
Kerosin (international)	238	275	301	153	170	188	205
Summe	2.747	2.600	2.566	2.379	2.219	2.096	1.960
Summe (national)	2.509	2.324	2.265	2.226	2.048	1.907	1.755
Differenz zum MMS			-156	-505	-665	-761	-804
Differenz zum MMS (national)			-134	-288	-421	-490	-510

Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI und Öko-Institut

Die Tabelle 3-14 zeigt die resultierende Gesamtenergienachfrage für den Verkehrssektor im SWS. Die Verkehrsenergienachfrage im Inland beträgt für das SWS 2.043 PJ im Jahr 2020 und 1.748 PJ im Jahr 2030. Damit sind die Minderungen im Vergleich mit dem MMS 426 PJ bzw. 516 PJ. Dies entspricht einer um etwa 17 % verminderten Nachfrage in 2020 und 23% in 2030. Obgleich dies nur relativ geringfügig zu einer Minderung von 40% der Treibhausgasemissionen für Deutschland beiträgt, ist damit

ein Strukturwandel im Verkehrsbereich in Gang. Dieser Strukturwandel ergibt sich in diesem Szenario durch eine Abnahme der Luftverkehrsnachfrage und durch das Zusammenspiel der Verbesserung der Struktur der fossilen PKW-Flotte, des beschleunigten technischen Fortschritts der PKWs und einer Änderung im Verhalten der PKW-Fahrer. Weil es im Straßenverkehr mehr Möglichkeiten gibt Benzinmotoren zu verbessern als Dieselmotoren, sinkt die Benzinnachfrage noch stärker als die Dieselnachfrage, die außerdem durch das Wachstum des Güterverkehrs stabilisiert wird.

Die Ergebnisse für Dienstwagenbesteuerung und Tempolimits auf Autobahnen sind unabhängig von der CO<sub>2</sub>-Strategie als individuelle Maßnahmen berechnet worden. Wenn aber durch die CO<sub>2</sub>-Strategie der CO<sub>2</sub>-Ausstoß der Neuwagen abnimmt, lässt sich die Frage stellen, ob das zu kleineren Auswirkungen der anderen Maßnahmen, die sich auf PKW beziehen, führt. Mit diesem Effekt ist in begrenzter Form zu rechnen. Die Ersparnisse durch die Dienstwagenbesteuerung ergeben sich durch eine Abnahme der größeren PKWs, die auch durch die CO<sub>2</sub>-Strategie getroffen werden. Eine ähnliche Argumentation gilt für das Tempolimit. Es sind meistens die mittleren und großen PKWs, die weit über 130 km/h fahren, die aber nun effizienter sind aufgrund der CO<sub>2</sub>-Strategie, so dass die Einsparung kleiner wird. Dazu kommt allerdings die Einsparung der leichten Nutzfahrzeuge, die über 130 km/h fahren, aber nicht von der CO<sub>2</sub>-Strategie betroffen sind. Insgesamt sollte also die Gesamtminderung der Energienachfrage und des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes der PKW-Flotte als eher optimistisch betrachtet werden.

Die Synergien zwischen den Einzelmaßnahmen im SWS-Szenario konnten nur teilweise berechnet werden, da mehrere Maßnahmen (Luftfahrtmaßnahmen und LKW-Maut) mit Partiell-Modellen berechnet worden sind. Auch konnten (wie oben diskutiert) die Synergien zwischen den PKW – Maßnahmen nicht berechnet werden. Deshalb werden die gewichteten Summen in der Tabelle 3-15 nicht dargestellt.

Tabelle 3-15 Treibhausgas-Emissionsminderungen durch die Maßnahmen im SWS

Maßnahme/ Umsetzung/ Institution	Typ	Beschreibung/Ziele (Wirkungsbereich)	Umsetzungs- stand (Wirkungs- beginn)	Direkte Emissionsminderungseffekte		
				2015	2020	2030
				Mio. t CO <sub>2</sub>		
Mehrwertsteuer auf Flugverkehr	F	Erhebung des vollen Mehrwertsteuersatzes (19%) auf innerdeutsche Flüge sowie auf den Streckenanteil internationaler Flüge bis zum ersten Stopp	2010	-1,8	-2,0	-2,3
Ausdehnung LKW-Maut	F	Erhöhung und Ausdehnung der LKW-Maut auf alle Fernstraßen sowie auf kleinere Fahrzeugklassen ab 3,5 t zGG bis 2015	Umsetzung 2008, nach 2015 konstant	-2,0	-5,0	-10,5
Abschaffung Stromsteuer Bahnverkehr	F	Abschaffung der Stromsteuer für den Schienenverkehr (Schienenfern- und -nahverkehr sowie städtischen ÖPNV)	Wirkung ab 2010, Verlagerung auf die Bahn.	-1,0	-1,0	-1,0
CO <sub>2</sub> -PKW Strategie verschärft	E	Verstärkung der CO <sub>2</sub> -Strategie Pkw, mit dem Ziel 95 g CO <sub>2</sub> /km in 2020 und 80 g CO <sub>2</sub> /km in 2030	2010	-5,0	-9,0	-9,0
Anpassung der Besteuerung von Dienstwagen	F	Besteuerung ähnlich der seit 2002 in Großbritannien geltenden Regelung: 12 % pro Jahr sollen nicht mehr pauschal als einkommenswerter Vorteil angelegt werden, statt dessen Koppelung an die CO <sub>2</sub> -Emissionen	Wirkung auf Neuwagen ab 2010	-1,4	-3,4	-3,5
Kerosinsbesteuerung	F	Die Kerosinbesteuerung soll ab 2013 für internationale Luftverkehr eingeführt werden. Die Besteuerung wird entgegen den Festlegungen im PSz IV von 30ct/l, auf 65,4 ct/l gesetzt.	Wirkung auf Kraftstoffpreise ab 2013	-17,8	-20,0	-24,4
Tempolimit auf Autobahnen	R	Tempolimit von 130 km/h. Annahme zum Befolgungsgrad 80%	Wirkung ab 2010	-6,8	-6,3	-4,8
<b>Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen</b>				<b>-35,8</b>	<b>-46,7</b>	<b>-55,5</b>

Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI.

3.2.1.5.3 Vergleich der Emissionseinsparungen

Die Entwicklung der Emissionen wird in Tabelle 3-16 dargestellt. Im MMS liegen die Emissionen für das Jahr 2020 um etwa 1 % über dem Niveau von 2005, bis zum Jahr 2030 wird ein Emissionsniveau von knapp 7 % unter dem des Jahres 2005 erreicht. Die im MMS erreichten Emissionsminderungen im Personenverkehr werden zunächst durch das Emissionswachstum im Flugverkehr und im Güterverkehr neutralisiert und führen erst ab 2025 zu absoluten Emissionsminderungen im Vergleich zum Ausgangsniveau von 2005.

Im SWS werden bis zum Jahr 2020 Emissionsminderungen umgesetzt, mit denen für das Jahr 2020 ein Niveau von knapp 24 % und im Jahr 2030 ein Niveau von 36 % unter den Werten von 2005 erreicht werden. Hierbei dominieren vor allem die Effekte der Maßnahmen im Bereich des Flugverkehrs sowie der verschärften Standards für Personenkraftwagen.

Tabelle 3-16 Emissionen des Verkehrssektors im Vergleich der Szenarien, 1990-2030

	1990	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	kt CO <sub>2</sub> -Äqu.						
CO <sub>2</sub> -Emissionen							
Entwicklung 1990 - 2005	177.610	188.536					
Mit-Maßnahmen-Szenario			192.650	196.599	190.468	184.811	175.587
Strukturwandel-Szenario			181.000	160.340	143.860	132.073	120.572
CH <sub>4</sub> -Emissionen							
Entwicklung 1990 - 2005	1.294	199					
Mit-Maßnahmen-Szenario			194	202	192	180	164
Strukturwandel-Szenario			183	175	155	138	123
N <sub>2</sub> O-Emissionen							
Entwicklung 1990 - 2005	785	1.623					
Mit-Maßnahmen-Szenario			1.702	1.819	1.838	1.840	1.806
Strukturwandel-Szenario			1.601	1.396	1.312	1.247	1.176
Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O							
Entwicklung 1990 - 2005	179.689	190.358					
Mit-Maßnahmen-Szenario			194.546	198.619	192.499	186.832	177.556
Strukturwandel-Szenario			182.783	161.911	145.327	133.458	121.871
Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O				Veränderung ab 1990 in %			
Mit-Maßnahmen-Szenario			8,3	10,5	7,1	4,0	-1,2
Strukturwandel-Szenario			1,7	-9,9	-19,1	-25,7	-32,2
Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O				Veränderung ab 2005 in %			
Mit-Maßnahmen-Szenario			2,2	4,3	1,1	-1,9	-6,7
Strukturwandel-Szenario			-4,0	-14,9	-23,7	-29,9	-36,0
Anmerkungen: hier ohne bauwirtschaftlichen Verkehr und Pipeline-Transport; mit Schmierstoffverbrauch und mit internationalem Flugverkehr und Hochseeschifffahrt							

Quellen: UBA (2008 a+b), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI, IEF-STE und Öko-Institut.

### 3.2.2 Private Haushalte – Raumwärme und Warmwasser

#### 3.2.2.1 Rahmendaten und Maßnahmen

##### 3.2.2.1.1 Vorbemerkungen und Rahmendaten

In den Analysen des Gebäudesektors stellt die Entwicklung der Gebäudeflächen ein entscheidender Parameter dar. Der Bestand der Gebäudeflächen setzt sich aus den Altbau- und Neubaufächen zusammen. Die gesamte bewohnte Wohnfläche ergibt sich aus der Addition des Altbaus, der ohne den Leerstand ausgewiesen wird, und der Neubauwohnfläche. Gemäß den demographischen Rahmendaten für die Entwicklung der Wohnbevölkerung und der Haushaltsstruktur wird die gesamte bewohnte Wohnfläche sowie die Neubauwohnfläche getrennt für die Referenzentwicklung (Variante „Trend“ der 11. koordinierten Bevölkerungsentwicklung des Statistischen Bundesamtes) ausgewiesen.

In der folgenden Tabelle 3-17 sind die Rahmenannahmen zur Entwicklung der Wohnflächen im Gebäudesektor bis 2030 dargestellt.

*Tabelle 3-17 Determinanten für die Energieverbrauchsentwicklung im Raumwärmesektor, 2005-2030*

in Mrd. m <sup>2</sup>	2005	2006	2010	2015	2020	2025	2030
Altbau (netto, ohne Leerstand)	3,06	3,06	3,05	3,03	3,00	2,95	2,91
Neubau		0,03	0,14	0,24	0,34	0,44	0,54
Bewohnte Wohnfläche Referenz V1-W2	3,06	3,09	3,19	3,27	3,34	3,40	3,45

Quellen: StBA (2006), StBA (2007a); eigene Berechnungen des Forschungszentrums Jülich, IEF-STE.

Für die privaten Haushalte werden mit Hilfe des IKARUS-Raumwärmemodells im Mit-Maßnahmen-Szenario diejenigen Maßnahmen berücksichtigt, die bis Mai 2008 wirksam geworden sind bzw. die im Rahmen des Integrierten Energie- und Klimaprogramms (Meseberg 2007) in 2008 beschlossen worden sind. Die Umsetzung des Strukturwandel-Szenarios erfordert zur weiteren deutlichen Senkung der Emissionen zusätzliche Maßnahmen. Sie zielen auf eine starke Verbesserung der Effizienz, eine Forcierung des Einsatzes erneuerbarer Energien sowie auf eine Verstärkung von Öffentlichkeitsarbeit, Beratung, Ausbildung und Qualitätsoffensiven.

Die quantifizierbaren Maßnahmen mit Blick auf die Emissionsminderungswirkungen sind einerseits die Programme mit monetärer Förderung und andererseits ordnungspolitische Maßnahmen. Andere Maßnahmen zählen wegen der hohen Unsicherheiten zu den nicht quantifizierbaren Maßnahmen (vgl. nachfolgende Tabelle).

Tabelle 3-18 *Analysierte Instrumente und Maßnahmen*

Referenz-Szenario	Strukturwandel-Szenario
Quantifizierbare Instrumente	
KfW-CO <sub>2</sub> -Gebäudesanierungsprogramm	Novellierung der EnEV 2009
Wohnraum Modernisieren	Wärme-Contracting im Mietwohnungsmarkt
Ökologisch Bauen	Mietminderungs- und Heizkostenkürzungsrechte
KfW-Wohneigentumsprogramm	Ausweitung des Erneuerbaren-Energien-Wärmegesetzes auf den Altbau
Stadtumbau Ost	Abrissprämien für Bestandsersatz
Soziale Wohnraumförderung	Energieeffizienz als mietspiegelrelevanter Inhalt
Marktanreizprogramm EE	Steigerung der Nachrüstverpflichtungen
Novellierung der EnEV 2007	Stärkung des Vollzugs der EnEV
Erneuerbares-Energien-Wärmegesetz	Wärme - EEG für Großgeräte
Novellierung der Heizkostenverordnung	Durchsetzung eines Fernwärmeanschlusszwangs
Energieberatung vor Ort	Optimierung der KfW-Programme
	Steuererleichterungen als Anreize für die Modernisierung und EE
Weiche und nicht quantifizierbare Instrumente	
Dena	Verstärkung von Energieforschung und Innovation
Information und Motivation	
Weiterbildungs- und Qualitätsoffensiven	
F&E im Gebäude- und Heizungsbereich	

Quelle: Forschungszentrum Jülich, IEF-STE.

### 3.2.2.1.2 *Mit-Maßnahmen-Szenario*

Im Mit-Maßnahmen-Szenario werden für die Anwendungsbereiche Raumwärme und Warmwasser für die privaten Haushalte die folgenden Maßnahmen berücksichtigt:

**Förderprogramm „Energieeffizient Sanieren“:** Die bisherigen Förderprogramme CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierung sowie die ÖKO-Plus-Variante des Programms Wohnraum Modernisieren werden ab April 2009 unter dem *Programm „Energieeffizient Sanieren“* weitergeführt.

**CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramm:** Dieses Programm ist Bestandteil des Nationalen Klimaschutzprogramms sowie des Programms für energieeffizientes Bauen und Sanieren der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW). Es dient der zinsgünstigen und langfristigen Finanzierung von Investitionen zur Energieeinsparung und zur CO<sub>2</sub>-Reduzierung in Gebäuden. Es wurde im Jahr 2001 als Ergänzung zu den KfW-Programmen zur CO<sub>2</sub>-Minderung und des Modernisierungsprogramms eingerichtet. Gefördert werden mit dem CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramm insbesondere umfangreiche CO<sub>2</sub>-Einsparmaßnahmen, die für Wohngebäude, welche vor 1984 errichtet wurden, mindestens bis zum Erreichen des EnEV Neubau – Niveaus beitragen. In 2007 erfolgte eine entsprechende Ausweitung der Förderung auf alle vor 1995

gebauten Wohngebäude. Die Investoren haben dabei die Möglichkeit vorgegebene Maßnahmenpakete zu verwenden oder die Pakete aus einem Maßnahmenkatalog zusammenzustellen. Diese Pakete setzen sich aus einer Kombination von Einzelmaßnahmen zusammen, die zur Wärmedämmung der Gebäudehülle, zur Erneuerung der Fenster, dem Austausch des Heizkessels oder zur Umrüstung des Heizenergieträgers beitragen.

Parallel zur Novellierung der EnEV 2007 ist in 2009 die Anpassung der Programme für energieeffizientes Bauen und Sanieren vorgenommen worden. Dabei ist nach der KfW (2008a) das Programm ab April 2009 unter Berücksichtigung der ÖKO-Plus-Variante des Programms Wohnraum Modernisieren in „Energieeffizient Sanieren“ umbenannt worden und ein einheitlicher Effizienzhaus-Standard für den Neubau und die Komplettsanierung entwickelt worden.

Die energetische Verbesserung von Gebäuden, bei denen der Bauantrag vor dem Jahr 1995 gestellt wurde, kann nun einheitlich gefördert werden. Für das energieeffiziente Sanieren gibt es keine vordefinierten Maßnahmenpakete mehr, sondern es werden eine oder mehrere Einzelmaßnahmen gefördert.

Gefördert wird künftig auch der Kauf einer sanierten Immobilie. Beim Erwerb einer sanierten Eigentumswohnung können ebenso Zuschüsse beantragt werden.

In der „Kategorie A“ des Programms – Sanierung auf Neubauniveau oder besser – wurde der Förderhöchstbetrag von 50.000 Euro auf 75.000 Euro je Wohneinheit (WE) aufgestockt. Wird durch die energetische Sanierung dabei der Standard des „Effizienzhaus 100“<sup>8</sup> erreicht, so wird bei Inanspruchnahme eines zinsvergünstigten KfW-Darlehens ein Tilgungszuschuss von 5 % gewährt (10 % Investitionskostenzuschuss ohne Darlehen, max. 7.500 Euro pro WE). Die Sanierung auf den „Standard „Effizienzhaus 70“, der den energetischen Neubaustandard nach EnEV 2007 um mindestens 30 % unterschreitet, führt zu einem Tilgungszuschuss von 12,5 % (bzw. 17,5 %, max. 13.125 Euro pro WE Investitionskostenzuschuss).

In der „Kategorie B“ des Programms werden Einzelmaßnahmen und Maßnahmenpakete zusammengefasst, für die zinsgünstige Darlehen und Zuschüsse geleistet werden. Ab einer Mindestinvestition von 6.000 Euro wird ein Investitionskostenzuschuss von 5 % gewährt.

Im Rahmen des CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramms wurden im Zeitraum von 2001 bis 2007 Kredite in einem Gesamtvolumen von 10 Mrd. Euro zugesagt, die zu einer energetischen Sanierung von rund 43,5 Mio. m<sup>2</sup> oder 540.000 Wohneinheiten beigetragen haben. Zuschüsse wurden in 2007 in Höhe von 15 Mio. Euro ausgezahlt

---

<sup>8</sup> Gefördert werden Maßnahmen, die dazu beitragen, das energetische Niveau eines Effizienzhauses zu erreichen. Effizienzhäuser 100 dürfen derzeit beispielsweise den Jahres-Primärenergiebedarf (Q<sub>p</sub>) und den spezifischen Transmissionswärmeverlust (H<sub>T</sub>) von höchstens 100 % der gemäß EnEV 2007 zulässigen Höchstwerte eines analogen Neubaus nicht überschreiten.

(KfW 2008b). Die jährlichen Effekte von 2001 bis 2007 sind in der Tabelle 3-19 dargestellt.

Tabelle 3-19 Effekte des CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramms (2001-2007)

		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Finanzmittel des Bundes	Mio. EUR	200	200	280	360	360	1.150	850
Kreditvolumen	Mio. EUR	507	725	1.146	1.435	1.136	3.230	1.861
Zuschüsse	Mio. EUR							15
Sanierte Wohneinheiten	Tsd.	31,5	43,2	69,0	90,1	69,9	149,2	88,6
Sanierte Wohnfläche	Mio. m <sup>2</sup>	2,6	3,6	4,9	5,2	6,4	13,0	7,8

Quellen: Hansen & Kleemann (2005); BEI/IWU (2007); BEI/IWU (2008); BMVBS (2008); KfW (2008b), Berechnungen des Forschungszentrums Jülich, IEF-STE.

Die Berechnungen für die CO<sub>2</sub>-Minderung durch das CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramm beruhen auf den Analysen von Kleemann (2003), wobei die Auswertung der Kreditanträge zu einer mittleren Mindesteinsparung von 40 kg/m<sup>2</sup> jährlich führte. Diese mittlere Reduktion weicht nur geringfügig von den untersuchten Emissions-einsparungen dieses Programms von 2005 bis 2007 durch das Bremer Energie Institut ab (BEI 2007; BEI/IWU 2007; BEI/IWU 2008). Die mit den Förderkrediten der KfW energetisch sanierten Wohngebäude werden als eine repräsentative Stichprobe des Bestands aufgefasst, die durch übliche Typgebäude dargestellt werden kann. Die an den Typgebäuden mit dem Raumwärmemodell berechneten Einsparungen werden auf die mit KfW-Mitteln sanierten Gebäude hochgerechnet.

Für das Programm werden in den Jahren 2008 und 2009 Bundesmittel von jeweils 900 Mio. Euro und in den Jahren 2010 und 2011 von je 1 Mrd. Euro für Kredite und Zuschüsse zur Verfügung gestellt. In 2008 wurde das Programm um Finanzmittel in Höhe von 500 Mio. Euro aufgestockt (BMVBS 2008a) und durch das Investitionspaket I der Bundesregierung wird das Programm von 2009 bis 2011 um jährlich rund 600 Mio. Euro zusätzlich verstärkt. Die Bundesmittel 2009 bis 2011 beinhalten die Förderung von energetischen Sanierungen in Großwohnsiedlungen mit einer Größenordnung von insgesamt 400 Mio. Euro (BMW/BMF 2008).

In den Rechnungen ist unterstellt, dass ab Herbst 2009 äquivalent zur Novellierung der EnEV 2007 eine Verschärfung der Mindesteinsparungen des Programms um 30 % vorgenommen wird. Für die Fortschreibung des Programms wird in 2008 mit einem Kreditbetrag von insgesamt 3,8 Mrd. Euro, 2009 mit rund 4,1 Mrd. Euro sowie 2010 und 2011 mit je 4,35 Mrd. Euro gerechnet. Im Zeitraum 2012 bis 2020 werden Finanzmittel des Bundes von jährlich 1,0 Mrd. Euro und einem Kreditvolumen von je 2,7 Mrd. Euro unterstellt. Damit könnten bis 2030, wie Tabelle 3-20 zeigt, Emissionseinsparungen von 11,1 Mio. t CO<sub>2</sub> erzielt werden.

Tabelle 3-20 Kreditvolumen und CO<sub>2</sub>-Einsparungen des CO<sub>2</sub>-Gebäude-sanierungsprogramms, 2006 bis 2030

		2009	2010	2015	2020	2025	2030
Finanzmittel des Bundes	Mio. EUR	1.500	1.600	1.000	1.000	1.000	1.000
Kreditvolumen/Zuschüsse	Mio. EUR	4.100	4.350	2.700	2.700	2.700	2.700
CO <sub>2</sub> -Minderung	Mio. t	0,66	0,70	0,40	0,40	0,40	0,40
Summe der CO <sub>2</sub> -Minderung	Mio. t	2,10	2,80	5,10	7,10	9,10	11,10

Quellen: BMVBS (2008); Berechnungen des Forschungszentrums Jülich, IEF-STE.

**KfW-Programm "Wohnraum Modernisieren"**: Dieses Programm existiert seit 2005 und ging aus der Zusammenlegung des KfW-Modernisierungsprogramms und des KfW-CO<sub>2</sub>-Minderungsprogramms hervor. Mit diesem Programm werden zinsgünstige Finanzierungsmittel zur Durchführung von CO<sub>2</sub>-Minderungs- und Modernisierungsmaßnahmen im Wohngebäudebestand zur Verfügung gestellt. Das Programm fördert im Rahmen einer Basisförderung nichtenergetische Standardmaßnahmen, welche die Modernisierung und Instandsetzung von Wohngebäuden, die Verbesserung der Außenanlagen bei Mehrfamilienhäusern und Maßnahmen zum Rückbau von leerstehenden, dauerhaft nicht mehr benötigten Mietwohngebäuden in den neuen Ländern und Berlin (Ost) beinhalten. Verstärkte klimaschutzrelevante Maßnahmen für den Wärmeschutz werden im Rahmen von ÖKO PLUS durch einen besonders günstigen Zinssatz gefördert. Die ÖKO-PLUS – Maßnahmen setzen sich aus Maßnahmen zur Dämmung der Gebäudehülle und der Erneuerung der Heizungstechnik auf Basis erneuerbarer Energien, Kraft-Wärme-Kopplung oder Nah- und Fernwärme zusammen.

Die Kostenstruktur dieses Programms ist mit dem CO<sub>2</sub>-Gebäude-sanierungsprogramm vergleichbar, so dass die Emissionseinsparungen der Variante ÖKO-PLUS in ausreichender Genauigkeit bestimmt werden können. Die Mittel für Einsparmaßnahmen belaufen sich nach den Angaben der KfW auf 20 %.

Im Programm "Wohnraum Modernisieren" wurden in den Jahren 2006 und 2007 Kreditvolumina von 3,8 und 3,3 Mrd. Euro zugesagt (Deutscher Bundestag 2008; KfW 2008b). Die Emissionen durch die Variante ÖKO-PLUS konnten in diesem Zeitraum um rund 0,08 Mio. t CO<sub>2</sub> reduziert werden.

Wird im Modell eine Fortschreibung dieses Programms mit einem Kreditvolumen von 3,0 Mrd. Euro bis 2030 angenommen und die Variante ÖKO-PLUS mit einem anteiligen Volumen von jährlich 200 Mio. Euro fortgeschrieben, so könnten CO<sub>2</sub> -Einsparungen bis 2030 von insgesamt 1,0 Mio. t erreicht werden (vgl. Tabelle 3-21).

Tabelle 3-21 Kreditvolumen und Emissionseinsparungen des KfW-Programms „Wohnraum modernisieren“, 2006 bis 2030

		2009	2010	2015	2020	2025	2030
Kreditvolumen - ÖKO PLUS	Mio. EUR	675	675	675	675	675	675
Kreditvolumen - Gesamt	Mio. EUR	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Mittel für Einsparmaßnahmen	Mio. EUR	330	200	200	200	200	200
CO <sub>2</sub> -Minderung	Mio. t	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Summe der CO <sub>2</sub> -Minderung	Mio. t	0,16	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00

Quellen: Deutscher Bundestag (2008); KfW (2008b); Berechnungen des Forschungszentrums Jülich, IEF-STE.

Zusammenfassend kann für das Förderprogramm „Energieeffizient Sanieren“ festgehalten werden, dass die Emissionen nach den Berechnungen bis 2030 insgesamt um 12,1 Mio. t CO<sub>2</sub> reduziert werden könnten.

**Förderprogramm „Energieeffizient Bauen“:** Das Förderprogramm geht aus dem bisherigen Programm „Ökologisch Bauen“ hervor. Dieses wurde 2005 eingeführt und dient der langfristig zinsgünstigen Finanzierung für die Errichtung und den Erwerb von Energiesparhäusern. Voraussetzung für die Förderung von „Effizienzhaus 55“ (vormals KfW-Energiesparhäusern 40) ist ein maximaler spezifischer Jahresprimärenergieverbrauch von 40 kWh/(m<sup>2</sup> a), der gegenüber den Neubauten der derzeitigen EnEV um 45 % niedriger ist. Entsprechend gilt ein spezifischer Jahresverbrauch von 60 kWh/m<sup>2</sup> als Prämisse für die Förderung von „Effizienzhaus 70“ (KfW-Energiesparhäusern 60), der 30 % unterhalb den Anforderungen der EnEV 2007 liegt. Mit diesem Programm wird auch der Einbau von Heizungstechnik bei Neubauten auf Basis erneuerbarer Energien, Kraft-Wärme-Kopplung und Nah- und Fernwärme als Einzelmaßnahme gefördert.

Mit diesem Förderprogramm wurden in den Jahren 2006 bzw. 2007 bei einem Kreditzusagevolumen von 2,2 bzw. 2,1 Mrd. Euro rund 106.000 Wohneinheiten gefördert. Differenziert nach Gebäudearten wurden in den Jahren 2006 und 2007 rund zwei Drittel der Kreditvolumen für den Standard „Effizienzhaus 70“ zur Verfügung gestellt (KfW, 2008b). Aufgrund der Verschärfung der wärmetechnischen Anforderungen der EnEV 2007 um 30 % im Rahmen der Novellierung der EnEV wird unterstellt, dass die Programmvariante „Effizienzhaus 70“ in 2009 ausläuft.

Durch die Fortschreibung der Variante der „Effizienzhaus 80“ nach der EnEV 2009 (entspricht „Effizienzhaus 55“ der EnEV 2007) mit einem mittleren Kreditvolumen von 2,0 Mrd. Euro bis 2030 könnten nach Tabelle 3-22 auf der Basis des Modells CO<sub>2</sub>-Emissionseinsparungen von rund 1,7 Mio. t erzielt werden.

Tabelle 3-22 Kreditvolumen und Emissionseinsparungen für das KfW-Programm „Energieeffizient Bauen“, 2006 bis 2030

		2006	2007	2008	2010	2020	2030
"Effizienzhaus 80" (EnEV 2009)	Mio. EUR	0	0	0	2.000	2.000	2.000
"Effizienzhaus 55" (EnEV 2007)	Mio. EUR	740	655	1.000	0	0	0
"Effizienzhaus 70" (EnEV 2007)	Mio. EUR	1.469	1.446	1.000	0	0	0
Gesamtes Kreditvolumen	Mio. EUR	2.209	2.101	2.000	2.000	2.000	2.000
CO <sub>2</sub> -Minderung	Mio. t	0,09	0,09	0,09	0,07	0,07	0,06
Summe der CO <sub>2</sub> -Minderung	Mio. t	0,09	0,18	0,27	0,40	1,08	1,72

Quellen: Deutscher Bundestag (2008); KfW (2008b); Berechnungen des Forschungszentrums Jülich, IEF-STE.

**KfW-Wohneigentumsprogramm:** Das KfW-Wohneigentumsprogramm existiert seit 1996 und wurde zur Finanzierung von Neubauten oder des Erwerbs einschließlich der Modernisierung von selbst genutzten Eigenheimen und Eigentumswohnungen konzipiert. Gefördert werden pro Objekt bis zu 30 % der Gesamtkosten mit einem maximalen Kreditbetrag von 100.000 Euro. Seit Februar 2008 können Darlehensnehmer Wohneigentumskredite mit Laufzeiten von bis zu 20 und bis zu 35 Jahren beantragen. Erstmals ist eine Zinsbindungsfrist von 15 Jahren möglich. Vorher war die Höchstlaufzeit auf 30 Jahre festgelegt und eine Zinsbindungsfrist von 5 oder 10 Jahren wählbar.

Nach den Angaben der KfW (2008c) planen nur noch 30,6 % der Kreditnehmer einen Neubau oder den Erwerb eines neu gebauten Eigenheims. Rund 70 % des gesamten Fördervolumens werden demnach zum Erwerb und der Modernisierung von Altbauten aufgewendet. Dieser Anteil wird aufgrund der sinkenden Neubauszahlen weiter ansteigen. In den Jahren 2005 bis 2007 variierte das gesamte Fördervolumen zwischen 4,4 und 5,6 Mrd. Euro (vgl. Tabelle 3-23).

Der Anteil der Kosten für die Modernisierungen wird in den Berechnungen mit 25 % des Fördervolumens für Altbauten berücksichtigt. Das Verhältnis von Mitteln für Einsparmaßnahmen wird entsprechend dem KfW-Programm "Wohnraum modernisieren" unterstellt. Insgesamt konnten die Emissionen unter diesen Annahmen durch energetische Sanierungen im Bestand von 2006 bis 2007 durch dieses Programm um rund 0,06 Mio. t CO<sub>2</sub> reduziert werden. Demgegenüber sind die Emissionen durch die Errichtung und Beheizung neuen zusätzlichen Wohneigentums im gleichen Zeitraum um 0,27 Mio. t angestiegen, so dass Mehremissionen von 0,2 Mio. t CO<sub>2</sub> abgeschätzt werden könnten (vgl. Tabelle 3-23).

In den Berechnungen bis 2030 wird bei einem sinkenden Anteil des Neubauvolumens auf 24 % ein jährliches Fördervolumen von 4,5 Mrd. Euro unterstellt. Sowohl

bei Neu- als auch bei Altbauten wird die Verschärfung der Anforderungen der EnEV um je 30 % ab Mitte 2009 in den Rechnungen berücksichtigt. Die Differenzen der Mehremissionen durch die Neubauten und die CO<sub>2</sub>-Minderung durch Sanierungsaktivitäten führen zu einer Steigerung der Emissionen um gut 0,6 Mio. t im Jahr 2030.

*Tabelle 3-23 Kreditvolumen, Mehremissionen im Neubau und Emissionseinsparungen durch Sanierungen, 2006-2020*

		2006	2007	2008	2010	2020	2030
Gesamtes Kreditvolumen	Mio. EUR	4.397	5.262	4.500	4.500	4.500	4.500
Anteil Erwerb Neubau	%	36	31	29	27	24	24
Anteil Erwerb Altbau	%	64	69	71	73	76	76
Mehremissionen durch Neubau	Mio. t	0,11	0,15	0,10	0,06	0,05	0,04
Emissionseinsparungen durch Sanierungen	Mio. t	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
CO <sub>2</sub> -Minderung	Mio. t	-0,09	-0,12	-0,07	-0,03	-0,01	0,00
Summe der CO <sub>2</sub> -Minderung	Mio. t	-0,09	-0,21	-0,28	-0,34	-0,50	-0,58

Quelle: Deutscher Bundestag (2008); KfW (2008b); Berechnungen des Forschungszentrums Jülich, IEF-STE

**Stadtumbauprogramm Ost:** Mit dem Bund-Länder-Programm "Stadtumbau Ost" wurde in 2002 eine Initiative zur Verbesserung der Stadt- und Wohnungsmarktentwicklung in den neuen Bundesländern gestartet. Das Programm soll insbesondere einen wirkungsvollen Beitrag zur Verbesserung der wohnungswirtschaftlichen Rahmenbedingungen und zur Sicherung der Funktionsfähigkeit der Wohnungsmärkte leisten, indem sowohl notwendige Rückbau- als auch Instandsetzungs- und Modernisierungsinvestitionen gezielt gefördert werden (Lenkungsgruppe 2008).

Mit diesem Städtebauförderungsprogramm sollen gemäß dem Bericht der Expertenkommission zum wohnungswirtschaftlichen Strukturwandel in den neuen Ländern (Pfeiffer, Simons et al. 2000) im Zeitraum von 2002 bis 2009 rund 350.000 Wohnungen vom Markt genommen werden. Bis Ende 2007 wurde im Rahmen des Programms "Stadtumbau Ost" der Rückbau von ca. 221.000 Wohnungen gefördert. Bei Aufrechterhaltung des Rückbautempos von 30.000 bis 40.000 Wohnungen pro Jahr kann das Programmziel, 350.000 Wohnungen zurückzubauen, bis ca. 2011 erreicht werden. Zusätzlich soll bis 2016 der Rückbau von weiteren 225.000 Wohnungen unterstützt werden, um den Leerstand nicht wieder ansteigen zu lassen (Beckmann, Meyer et al. 2008).

Neben dem Rückbau ist die Aufwertung der Innenstädte und zukunftsfähiger Stadtteile von Beginn an ein wesentliches Ziel im Programm „Stadtumbau Ost“. Nach der Evaluierung des Programms wurden bis Ende 2007 insgesamt rund 950 Mio. Euro

von Bund und Ländern für den Rückbau und knapp 870 Mio. Euro für Aufwertungsmaßnahmen bereitgestellt. Das Programm hat derzeit eine Laufzeit von 2002 bis 2009 und sieht den Einsatz von Finanzmitteln des Bundes in Höhe von rund 1,1 Mrd. Euro vor, die sich unter Berücksichtigung zusätzlicher Mittel der Länder und der Gemeinden auf ein Gesamtfördervolumen von ca. 2,5 Mrd. Euro summieren.

Die jährliche Förderung beläuft sich damit im Mittel auf rund 310 Mio. Euro. Dabei wird unterstellt, dass die Mittel je zur Hälfte für Rückbau- und Aufwertungsmaßnahmen eingesetzt werden. Für die Rechnungen wird die derzeitige Förderhöhe bis 2020 fortgeschrieben.

Für die Abschätzung der anrechenbaren CO<sub>2</sub>-Einsparungen durch energetische Aufwertungsmaßnahmen im Bestand wird unterstellt, dass pro Jahr rund 2.000 Wohnungen mit einem Finanzvolumen von gut 50 Mio. Euro gefördert werden. Bei einer mittleren Stadtwohnungsgröße von 70 m<sup>2</sup> und einer spezifischen CO<sub>2</sub>-Einsparung von 40 kg/m<sup>2</sup> pro Jahr in Anlehnung an das untersuchte CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramm ergibt sich bis zum Jahr 2030 eine Reduktion um 0,2 Mio. t CO<sub>2</sub>.

**Soziale Wohnraumförderung:** Die soziale Wohnraumförderung ist für die öffentliche Hand ein wichtiges Instrument der Wohnungspolitik. Der Zweck besteht in der Bereitstellung von günstigem Wohnraum und gilt insbesondere für Haushalte, die sich aus eigener Kraft nicht angemessen mit Wohnraum versorgen können. Nach dem Wohnraumförderungsgesetz (WoFG) besteht der Fördergegenstand u.a. darin, den Wohnraum zu modernisieren. Diese Modernisierungen beziehen sich auf bauliche Maßnahmen, die den Gebrauchswert nachhaltig erhöhen, die allgemeinen Wohnverhältnisse verbessern und nachhaltig Einsparungen von Energie und Wasser bewirken (WoFG 2006). Mit dem Gesetz zur Änderung des Grundgesetzes (GG) vom 1. September 2006 (Föderalismusreform I 2006) ist mit der Neufassung des Art. 74 Abs. 1 Nr. 18 GG die soziale Wohnraumförderung in die ausschließliche Gesetzgebungskompetenz der Länder übergegangen (EntflechtG 2006). Durch diese Aufgabenverlagerung soll der regional recht unterschiedlichen Entwicklung des Wohnungsbedarfs entgegen gewirkt werden. In 2006 hat der Bund letztmalig Finanzhilfen für Investitionen zur sozialen Wohnraumförderung in Höhe von 202,4 Mio. Euro bereitgestellt. Mit der Beendigung der Finanzierung des Bundes zur Wohnraumförderung steht den Ländern als Kompensation für den Zeitraum 2007 bis 2013 jährlich ein Betrag von 518,2 Mio. Euro aus dem Haushalt des Bundes zur Wahrnehmung dieser Aufgaben zu. Mit diesem Betrag sollen auch die Mittel zur Ausfinanzierung der vom Bund bis 2006 eingegangenen Verpflichtungen abgegolten sein. Nach 2013 soll die Notwendigkeit dieser Transferleistungen überprüft werden (EntflechtG 2006).

In den Rechnungen wird unterstellt, dass die Förderung des sozialen Wohnraums auf der Basis von Fördermitteln in Höhe von 200 Mio. Euro pro Jahr bis 2020 fortgeführt wird. Von diesen jährlichen Finanzmitteln werden 25 % für die Energieeinsparung angesetzt. Unter diesen Annahmen könnten die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2030 um rund 0,2 Mio. t reduziert werden. (vgl. Tabelle 3-24).

Tabelle 3-24 Fördervolumen und Emissionseinsparungen

		2006	2007	2008	2010	2020	2030
Jährliches Fördervolumen	Mio. EUR	202	200	200	200	200	200
Einsparung Modernisierung	Mio. EUR	51	50	50	50	50	50
CO <sub>2</sub> -Minderung durch Sanierungen	Mio. t	0,01	0,02	0,02	0,04	0,13	0,21

Quellen: EntflechtG (2006); WoFG (2006); Berechnungen des Forschungszentrums Jülich, IEF-STE.

**Marktanreizprogramm:** Das Marktanreizprogramm (MAP) fördert schwerpunktmäßig die Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärmebereitstellung. Der Zweck des Programms besteht darin, die breite Markteinführung erneuerbarer Energien zur Wärmebereitstellung zu erleichtern sowie Kostensenkungen und Technologieentwicklung anzustoßen. Mit dem im Jahr 1999 gestarteten Marktanreizprogramm wird für die Wärmeversorgung im Gebäudesektor die Installation einer thermischen Solaranlage und von kleinen oder großen Biomasseanlagen gefördert. Seit 2008 wird zusätzlich der Einbau von Wärmepumpen in Gebäuden finanziell unterstützt. Für die Abwicklung des MAP sind das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) und die Kreditanstalt für Wiederaufbau verantwortlich.

Seit dem Programmstart wurden bis einschließlich 2007 mit Fördermitteln von rund 1 Mrd. Euro Investitionen in Höhe von 8,2 Mrd. Euro ausgelöst. In den Jahren 2006 und 2007 sind Vorhaben mit einem Investitionsvolumen von 1,5 und ungefähr 1,7 Mrd. Euro gefördert worden. In 2008 wurde das Fördervolumen auf bis zu 350 Mio. Euro erhöht und soll ab 2009 auf 500 Mio. Euro erweitert werden.

Solarthermische Anlagen: Durch das MAP werden Flach-, Vakuum- und Luftkollektoren gefördert. Die Luftkollektoren sind gegenüber den anderen Kollektortypen nach den bisher installierten Kollektorflächen von eher untergeordneter Bedeutung. Rund 90 % der installierten Anlagen sind Flachkollektoren. Die Verwendungszwecke der errichteten solarthermischen Anlagen sind die Warmwasserbereitung und die Heizungsunterstützung. Aus den Daten zur Evaluierung des Programms geht hervor, dass in den Jahren 2006 und 2007 1,1 und 1,2 Mio. m<sup>2</sup> Kollektorfläche installiert wurden (ZSW/ISI 2004; ZSW/TFZ 2006; ZSW 2007; ZSW 2008).

Der Wirkungsgrad des gesamten Solarsystems einschließlich des Weges zu den Verbraucherstellen und den Wärmeverlusten, mit denen alle Komponenten einer Solaranlage behaftet sind, wird als Systemwirkungs- oder Nutzungsgrad bezeichnet. Der System-Nutzungsgrad einer durchschnittlichen Flachkollektor-Anlage beträgt ca. 35 %. Bei Vakuumröhrenkollektor-Anlagen liegt er bei etwa 45 %.

Zur Berücksichtigung der spezifischen klimatischen Verhältnisse Deutschlands, wird die mittlere jährliche Sonneneinstrahlung mit 1.000 kWh/m<sup>2</sup> unterstellt. Für die Berechnung der Einsparungen werden mittlere Nutzungsgrade für die konventionelle

Warmwasserbereitung und die vorhandene Energietrgerstruktur nach den Daten von (EWI/Prognos 2006) angenommen.

Bei der Berechnung wurde unterstellt, dass nach (ZSW 2007; ZSW 2008) 90,0 % der Kollektoranlagen Flchen bis zu 20 m<sup>2</sup> besitzen. Vor diesem Hintergrund wird der Anteil der gewerblich installierten Kollektorflchen mit 10 % und die Erneuerung von bestehenden Anlagen wird mit 5 % bercksichtigt. Fr diese beiden Anteile wird im Wohngebudebereich keine CO<sub>2</sub>-Einsparung angerechnet.

Aufgrund des steigenden Fördervolumens des MAP werden erhhte Investitionsvolumen in den Berechnungen angenommen. Wird das Programm mit den Parametern des Jahres 2007 bis 2030 fortgeschrieben, so knnen Emissionseinsparungen von rund 2,7 Mio. t CO<sub>2</sub> erreicht werden.

*Tabelle 3-25 Emissionseinsparungen durch Solarthermische Anlagen von 2006 bis 2030*

		2006	2007	2008	2010	2020	2030
Jhrliches Investitionsvolumen	Mio. EUR	825	1.020	1.261	1.559	1.559	1.559
Installierte Kollektorflche	Tsd. m <sup>2</sup>	1.140	1.220	1.306	1.397	1.480	1.566
CO <sub>2</sub> -Minderung	Mio. t	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10
Summe CO <sub>2</sub> -Minderung	Mio. t	0,11	0,23	0,34	0,56	1,66	2,71

Quellen: ZSW/ISI (2004); ZSW/TFZ (2006); ZSW (2007); ZSW (2008); Berechnungen des Forschungszentrums Jlich, IEF-STE

**Biomasse-Anlagen:** Bei der Forderung der energetischen Nutzung der Biomasse wird im MAP zwischen Anlagen unter und ber 100 kW Leistung unterschieden. Kleine Biomasseanlagen werden durch Zuschüsse der Bundesanstalt fr Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle und groe Anlagen durch vergnstigte Kredite der KfW gefrdert. Seit Programmbeginn wurden bis Ende 2006 mit einem finanziellen Zuschuss aus diesem Programm ber 95.300 kleine Biomassekessel installiert. Die hierdurch angeschobenen Investitionen betragen 1,5 Mrd. Euro fr kleine Biomasseanlagen (BMU 2007a). Mehr als 95 % der Antrge fr kleine Anlagen werden durch private Haushalte gestellt, whrend bei den groen Anlagen die gewerblichen Antragsteller dominieren.

In den Jahren 2004 bis 2007 wurde durch die Forderung von kleinen Biomasseanlagen eine Leistung von 2,6 GW installiert. U. a. aufgrund von unterschiedlichen Fordersätzen schwanken die jhrlichen Antragszahlen zwischen 15.000 und 40.000 Anlagen pro Jahr. Differenziert nach Leistungsklassen wurden im Mittel in den Gruppen bis 20 kW und 21 bis 50 kW jeweils rund 48 % der Antrge und weitere 4 % in der Gruppe von 51 bis 100 kW gestellt. In 2006 wurde eine thermische Leistung von 1 GW neu installiert, die zu 46 % auf handbeschickte Holzhackschnitzel-

kessel und weitere 44 % auf Pelletkessel zurückgeführt werden kann. Rund 10 % der installierten Leistung sind Scheitholzkessel.

Aus der Anzahl der geförderten Anlagen im Wohngebäudebereich, den mittleren Leistungen und den mittleren Nutzungsdauern (BMU 2004) wird die bereit gestellte Energie berechnet. Daraus lässt sich dann über die vorhandene Energieträgerstruktur der substituierten Energieträger die CO<sub>2</sub>-Einsparung bestimmen.

Für die Jahre 2004 bis 2006 schwanken die mit dem Förderprogramm jährlich angestoßenen Investitionen zwischen 199 und 658 Mio. Euro. Für die Fortschreibung des Programms könnten durch eine jährlich installierte Leistung von 1 GW bis 2030 Einsparungen von 4,6 Mio. t CO<sub>2</sub> erzielt werden (vgl. Tabelle 3-26).

Tabelle 3-26 Emissionseinsparungen durch Biomasseanlagen

		2006	2007	2008	2010	2020	2030
Jährliches Investitionsvolumen	Mio. EUR	658		350	500	500	500
Installierte Leistung	MW	1.000	454	700	1.000	1.000	1.000
CO <sub>2</sub> -Minderung	Mio. t	0,21	0,09	0,14	0,19	0,19	0,18
Summe CO <sub>2</sub> -Minderung	Mio. t	0,21	0,30	0,43	0,82	2,74	4,58

Quellen: ZSW/ISI (2004); ZSW/TFZ (2006); ZSW (2007); ZSW (2008); Berechnungen des Forschungszentrums Jülich, IEF-STE.

Wärmepumpen: Seit Anfang 2008 können aus dem Marktanreizprogramm auch effiziente Wärmepumpensysteme gefördert werden (vgl. Tabelle 3-27). Die Förderhöhe ist abhängig vom Wärmepumpensystem, der Gebäudeart sowie von der Nutzfläche. Bei Gebäuden mit bis zu zwei Wohneinheiten ist die Förderung abhängig von der Wohnfläche. Bei mehr als zwei Wohnungen oder Nichtwohngebäuden dient die Nettoinvestitionssumme der Wärmepumpe als Bemessungsgrundlage (10 % in Neubauten und 15 % bei Altbauten). Eine kombinierte Förderung der Wärmepumpe und der Solaranlage ist möglich. Eine zusätzliche Förderung, die im Vergleich zur Basisförderung um 50 % höher liegt, ist bei besonders effizienten Wärmepumpen auf der Basis der Innovationsförderung möglich. Die Wärmepumpenanlagen müssen für die Förderung die in Nr. 9 der Förderrichtlinie genannten Jahresarbeitszahlen erreichen (BMU 2007b). Die Berechnung der Jahresarbeitszahl bei elektrisch angetriebenen Wärmepumpen erfolgt aus der Division der abgegebenen Wärmemenge in Bezug zur eingesetzten Strommenge. Dieser Strom schließt den Betrieb der peripheren Verbraucher wie beispielsweise die Grundwasserpumpe ein. Nach VDI 4650 ist in Anlehnung an DIN EN 255 und DIN EN 14511 der benötigte COP - Wert (Verhältnis von abgegebener Wärmeleistung (kW) zu aufgenommener elektrischer Antriebsleistung inklusive Hilfsenergie unter Prüfbedingungen) zu bestimmen. Dabei beträgt die Heizungsvorlauftemperatur 55 °C und die Heizgrenztemperatur 15 °C.

Tabelle 3-27 Basisförderung für die Wärmepumpen ab 2008

	Altbau	Neubau	Altbau	Neubau	Altbau	Neubau
	Basisförderung	Basisförderung	Basisförderung	Basisförderung	Jahresarbeitszahl	Jahresarbeitszahl
	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>	€ max.	€ max.	min.	min.
Luft/Wasser	10	5	1.500	850	3,3	3,5
Wasser/Wasser	20	10	3.000	2.000	3,7	4,0
Sole/Wasser	20	10	3.000	2.000	3,7	4,0

Quelle: BMU (2007a)

Nach der Auskunft des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle wurden im Rahmen dieses MAP im Jahr 2008 zwischen 30.000 bis 50.000 Anträge erwartet (BAFA 2008). In den Berechnungen werden für 2008 rund 30.000 und ab 2009 rund 40.000 Anträge für Wohngebäude unterstellt. Rund die Hälfte der Anträge wird durch Neubauten ausgelöst.<sup>9</sup> Zur Abschätzung der Einsparungen in Neubauten wird in den Rechnungen eine Wohnfläche von 140 Quadratmetern pro Wohngebäude angenommen, weil mehr als 80 % der neuen Wohngebäude Einfamilienhäuser sind. Im Bestand wird eine durchschnittliche Wohnfläche von 86 m<sup>2</sup> pro Wohneinheit berücksichtigt. Die Emissionseinsparungen könnten sich bis 2030 auf knapp 0,7 Mio. t CO<sub>2</sub> belaufen.<sup>10</sup>

Tabelle 3-28 Emissionseinsparungen durch Wärmepumpen

		2008	2009	2010	2020	2030
Jährliches Investitionsvolumen	Mio. EUR	300	400	400	400	400
Fördervolumen	Mio. EUR	55	73	73	73	73
CO <sub>2</sub> -Minderung	Mio. t	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
Summe CO <sub>2</sub> -Minderung	Mio. t	0,04	0,07	0,10	0,39	0,67

Quellen: BMU (2007), BAFA (2008), BWP (2008); Berechnungen des Forschungszentrums Jülich, IEF-STE.

Zusammenfassend kann für das MAP festgehalten werden, dass die Emissionen nach den Berechnungen bis 2030 insgesamt um 8,0 Mio. t CO<sub>2</sub> reduziert werden könnten.

<sup>9</sup> Dieser Anhaltswert wurde aus den Antragseingängen bei der BAFA bis Juni 2008 auf ein ganzes Jahr hochgerechnet und als Annahme für die Berechnungen verwendet.

<sup>10</sup> Als Berechnungsgrundlage wurden hier die Anforderungen an die Wärmepumpen nach BAFA (2008) und BMU (2007a) unterstellt.

**Förderung der Energieberatung (Vor-Ort-Beratung):** Die Beratung zur sparsamen und rationellen Energieverwendung in Wohngebäuden vor Ort (Vor-Ort-Beratung) stellt ein wichtiges Instrumentarium zur Darstellung von Energieinvestitionen im Gebäudebereich dar. Die Nachfrage nach Energieberatungen im BMWi-Förderprogramm „Energieberatung in Wohngebäuden vor Ort“ hat sich seit 1998 mit 1.034 Beratungen pro Jahr deutlich gesteigert. Das bisherige Maximum der jährlichen Energieberatungen wurde 2006 mit mehr als 22.000 erreicht und lag in 2007 bei 15.800 Beratungen (Deutscher Bundestag 2008).

Eine Vor-Ort-Beratung ist förderfähig, wenn sie sich umfassend auf den baulichen Wärmeschutz sowie die Wärmeerzeugung und -verteilung unter Einschluss der Warmwasserbereitung und der Nutzung erneuerbarer Energien bezieht. Eine Vor-Ort-Beratung wird nach der Förderrichtlinie vom Mai 2008 bei Ein- und Zweifamilienhäusern mit einem Zuschuss von 300 Euro und für ein Wohngebäude mit mehr als 2 Wohneinheiten mit 360 Euro gefördert. Der Zuschuss für ein gesondertes Thermografiegutachten beträgt 150 Euro bzw. maximal 50 % der Kosten (VOB 2008). Die Förderquote wird in Anlehnung an die Evaluierung durch (Ifeu/TNS-Emnid 2008) bei Ein- und Zweifamilienhäusern mit rund 50 % und bei Mehrfamilienhäusern mit 40 % angesetzt. Zwischenzeitlich galten nach der vorherigen Richtlinie im Zeitraum von September 2006 bis April 2008 verringerte Förderquoten von 25 % für alle Wohngebäude, die insbesondere in 2007 zu einer Verringerung der Energieberatungen beigetragen haben.

Die abgeschätzten Ausgaben für das Programm beliefen sich im Jahr 2005 bei rund 12.000 Beratungen auf 3,7 Mio. Euro, im Jahr 2006 bei 22.300 Beratungen auf 6,0 Mio. Euro und 2007 bei 15.800 Beratungen auf 3,1 Mio. Euro.

Nicht alle Beratungsvorschläge werden in der Praxis umgesetzt. So hat eine Befragung des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA 2000) ergeben, dass 64 % der Befragten in ihrer Entscheidung zur Durchführung von Energiesparinvestitionen stark von der Beratung beeinflusst waren. Nach der Analyse des Programms durch Ifeu/TNS-Emnid (2008) wurden für die Beratenen in 2005 folgende Umsetzungsraten ermittelt:

- Heizung 80 %
- Wärmedämmung 74 %
- Fenster 60 %
- Mittelwert 70 %.

Die folgende Abschätzung der CO<sub>2</sub>-Einsparungen geht von dem optimistischeren Wert von 70 % aus.

In den Berechnungen wird unterstellt, dass die Beratungen „quer“ durch den gesamten Gebäudebestand durchgeführt werden. Dabei wird – in Auswertung der Vor-Ort-Beratungen und bezogen auf den gesamten Gebäudebestand – eine mittlere beheizte Wohnfläche von 200 m<sup>2</sup> angenommen. Die erzielten Einsparungen pro Quadratmeter werden gemäß dem KfW-CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramm mit jährlich

40 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> auf dieses Programm übertragen. Vor diesem Hintergrund lassen sich in 2005 bei 12.000 Beratungen jährliche Einsparungen von rund 0,07 Mio. t CO<sub>2</sub> umsetzen. Für das Jahr 2006 werden die jährlichen Einsparungen mit knapp 0,13 Mio. t und 2007 mit 0,09 Mio. t CO<sub>2</sub> abgeschätzt.

Für die Fortschreibung des Programms werden jährlich 15.000 Energieberatungen angesetzt, die eine kumulative Bruttoeinsparung bis 2030 von rund 2,2 Mio. t CO<sub>2</sub> erreicht.

Viele Beratene nehmen bei der Durchführung der Sanierung eine finanzielle Förderung in Anspruch. Damit ergibt sich eine Überschneidung mit den berechneten Einsparungen der Fördermaßnahmen. Der prozentuale Anteil der Förderung wird nach Hansen & Kleemann (2005) mit 62 % angesetzt. Die Nettoeffekte der CO<sub>2</sub>-Minderung durch die Energieberatung Vor-Ort könnten sich demnach von 2006 bis 2030 auf 0,8 Mio. t CO<sub>2</sub> summieren.

Tabelle 3-29 Energieberatungen Vor-Ort und CO<sub>2</sub>-Emissionseinsparungen

		2006	2007	2008	2010	2020	2030
Fördervolumen	Mio. EUR	6,0	3,1	4,7	4,7	4,7	4,7
Beratungen	Anzahl	22.327	15.810	15.000	15.000	15.000	15.000
CO <sub>2</sub> -Minderung	Mio. t	0,13	0,21	0,30	0,47	1,31	2,15
Überschneidungsfreie CO <sub>2</sub> -Minderung	Mio. t	0,05	0,08	0,11	0,18	0,50	0,82

Quellen: Deutscher Bundestag (2008); Berechnungen des Forschungszentrums Jülich, IEF-STE.

**Energieeinsparverordnung (EnEV):** Durch die Einführung der Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (EnEV 2002) ab Februar 2002 wurden gegenüber der vorangehenden Wärmeschutzverordnung von 1995 (WSchVO, 1995) und der Heizungsanlagen-Verordnung (HeizAnIV, 1998) die Gebäude- und Anlagentechnik miteinander verknüpft. Das Ziel der Verordnung bestand darin, die Anforderungen gegenüber der alten Wärmeschutzverordnung für den Neubau um 30 % zu verschärfen und stärkere Impulse im Gebäudebestand zu geben.

Die Einbeziehung der Heizungsverluste erfolgt durch Bezug der Anforderungen auf den Jahres-Primärenergiebedarf. Die Anforderungen in Bezug auf den Jahres-Primärenergieverbrauch in Neubauten wurden mit der EnEV 2002 in Abhängigkeit des Verhältnisses der wärmeübertragenden Fläche zum Gebäudevolumen ( $A/V_e$ ) formuliert. Das Nachweisverfahren im Neubau zur Berechnung des Jahres-Primärenergieverbrauchs erfolgt auf der Basis der DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10. Zur Dokumentation der Berechnungsergebnisse wurde ein Energiebedarfsausweis eingeführt.

Durch diese Zusammenführung sollte bei den Akteuren ein Anpassungsprozess ausgelöst werden, weil mit der EnEV eine bis dahin nicht allgemein übliche, ganzheitliche Planung angestoßen wurde. Dies sollte zu einer besseren Abstimmung zwischen den thermischen Eigenschaften von Gebäude und Heizungsanlage führen und Energie einsparen. Nach Evaluierungsuntersuchungen von (Ifeu/IWU 2005) wurden die Anforderungen gegenüber der WSchVO95 jedoch nur um ca. 20 % verschärft.

Im Bestand wurden mit der EnEV 2002 maximal zulässige Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) bei baulichen Maßnahmen und Einzelanforderungen an die Anlagentechnik für Heizung und Warmwasser vorgegeben. Die maximalen U-Werte für neue und geänderte Teile der Gebäudehülle im Altbaubereich sind gegenüber der WSchV95 zwischen 10 und 15 % verschärft worden (Hansen & Kleeemann 2005).

Mit der Änderungsverordnung der EnEV im Jahr 2004 wurden Verfahrensvereinfachungen vorgenommen sowie Rechtsklarheit und Rechtssicherheit in der Handhabung der EnEV erhöht. Der Schwerpunkt lag in der Anpassung an den verbesserten Stand der Technik. Insgesamt ist das Gesamtanforderungsniveau der EnEV unverändert geblieben, so dass keine Verschärfung der Anforderungen vorgenommen wurde (EnEV 2004).

Die EnEV 2007 ist im Oktober 2007 in Kraft getreten. Die seit der EnEV 2002 gültigen energetischen Anforderungen sind nicht verschärft worden. Entsprechend den Erfordernissen der seit 2003 gültigen europäischen Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EU-Gebäude-RL, 2003) wurde zur Umsetzung dieser Richtlinie mit dieser Novelle die Einführung von Energieausweisen für Bestandsgebäude, die Berücksichtigung von Klimatisierung und Beleuchtung bei Nichtwohngebäuden sowie die regelmäßigen Inspektionen von Klima- und Lüftungsanlagen festgelegt. Die schrittweise Einführung von Energieausweisen, die vorgelegt werden müssen, wenn eine Wohnung, ein Wohnhaus oder ein Wohngebäude mit einem Baujahr 1965 oder älter verkauft oder neu vermietet wird ist seit Juli 2008 verpflichtend. Seit 2009 gilt diese Energieausweis-Pflicht auch für neuere Wohnhäuser oder Wohngebäude (EnEV 2007).

### **EnEV 2009**

Mit der beschlossenen Novelle der EnEV 2007, die am 01. Oktober 2009 in Kraft tritt, werden folgende Änderungen umgesetzt:

- Zur Erhöhung der Energieeffizienz unter Wahrung der wirtschaftlichen Vertretbarkeit werden die Anforderungen an den maximal zulässigen Jahres-Primärenergiebedarf und an die maximal zulässigen U-Werte für Alt- und Neubauten um 30 % verschärft. Im Altbaubereich wurde zudem festgelegt, dass bereits bei einer Sanierung, die einen Anteil der Bauteilfläche von mehr als 10 % umfasst, die Bauteilanforderungen erfüllt werden müssen. Nach der EnEV 2007 lag die Grenze bei 20 % der Bauteilfläche.

- Auf der Grundlage der DIN V 18599 wird ein neues Berechnungsverfahren für Wohngebäude eingeführt, das alternativ zum bestehenden Verfahren zur Bilanzierung herangezogen werden kann. Die bisherige Berechnung nach dem vereinfachten Verfahren wird durch ein Referenzgebäudeverfahren ersetzt, das bezüglich der Verwendung solarthermischer Anlagen das Erneuerbare – Energien – Wärmegesetz (EEWärmeG) abbildet. Dabei wird der maximal zulässige Primärenergiebedarfskennwert für das Gebäude individuell anhand eines Referenzgebäudes mit gleicher Geometrie, Ausrichtung und Nutzfläche unter der Annahme standardisierter Bauteile und Anlagentechnik ermittelt. Das bisherige Berechnungsverfahren in Abhängigkeit vom A/V-Verhältnis entfällt.
- Einzelne Nachrüstpflichten zur Dämmung werden hinsichtlich der Anforderungen an die Dämmqualität erweitert. Die Pflicht zur Dämmung wird u.a. auf begehbare und bisher ungedämmte oberste Geschossdecken von Ein- und Zweifamilienhäusern ausgedehnt.
- Elektrisch betriebene Speicherheizsysteme dürfen in Wohngebäuden mit mehr als 5 Wohneinheiten nicht mehr betrieben werden, wenn durch sie ausschließlich die Raumwärme erzeugt wird. Ist das Heizsystem vor 1990 eingebaut worden, so ist das System bis Ende 2019 außer Betrieb zu nehmen. Bei Einbauten ab 1990 ist das Speicherheizsystem nach Ablauf von 30 Jahren nicht weiter zu betreiben.
- Zur Verbesserung des Vollzugs der EnEV werden die privaten Nachweispflichten wie beispielsweise Unternehmer- oder Eigentümererklärungen intensiviert. Die Überprüfung der Nachweispflichten erfolgt durch Bezirksschornsteinfeger.
- Anreize für den verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien werden geschaffen. Der aus erneuerbaren Energien gewonnene Strom kann vom rechnerischen Energiebedarf von Gebäuden abgezogen werden. Gleichzeitig werden Primärenergiefaktoren für flüssige und gasförmige Biomasse aufgenommen, die sich - soweit die Biomasse in räumlicher Nähe zum Gebäude erzeugt wird - entsprechend günstig auf die energetischen Berechnungen für das jeweilige Gebäude auswirken (EnEV 2009).

Ein Vergleich der U-Werte für die Anforderungen an die Bauteile bei der energetischen Sanierung von Altbauten ist in der Tabelle 3-30 abgebildet.

Tabelle 3-30 Vergleich der maximal zulässigen Wärmedurchgangskoeffizienten

Bauteil	WSchVO95	EnEV 2002 - 2007	EnEV 2009
	W/(m <sup>2</sup> K)	W/(m <sup>2</sup> K)	W/(m <sup>2</sup> K)
Außenfassade	0,50	0,45	0,24
	0,40	0,35	
Fenster	1,80	1,70	1,30
Decken, Dächer	0,30	0,30	0,24
		0,25	0,20
Keller	0,50	0,40	0,30
		0,50	0,24

Quellen: Hansen & Kleemann (2005); EnEV (2009)

Zur Berechnung der Einsparungen wird für die bisherige EnEV gegen das Niveau der WSchV95 gerechnet und ab Oktober 2009 die Differenz zwischen der EnEV 2007 und der EnEV 2009 ausgewiesen. Die erzielte kumulative Einsparung durch die EnEV 2009 könnte bis 2030 bei 7,0 Mio. t CO<sub>2</sub> liegen.

Tabelle 3-31 CO<sub>2</sub>-Einsparung durch die EnEV

CO <sub>2</sub> -Emissionen		2006	2007	2009	2010	2020	2030
Zusätzliche Einsparungen durch EnEV 2009 gegenüber EnEV 2007							
Einsparungen im Neubau	Mio. t	0,00	0,00	0,05	0,24	1,87	3,23
Einsparungen im Altbau	Mio. t	0,00	0,00	0,03	0,17	1,73	3,73
Summe der Mehreinsparungen	Mio. t	0,00	0,00	0,08	0,42	3,60	6,96
Mehreinsparungen durch EnEV 2002-2007 gegenüber WSchVO 1995 (nachrichtlich)							
Einsparungen im Neubau	Mio. t	0,23	0,44	0,86	1,05	2,67	4,03
Einsparungen im Altbau	Mio. t	0,14	0,28	0,56	0,70	2,34	4,36
Summe der Mehreinsparungen	Mio. t	0,37	0,72	1,41	1,75	5,01	8,39

Quellen Berechnungen des Forschungszentrums Jülich, IEF-STE.

Da die EnEV eine übergreifende Maßnahme ist, können die berechneten Beträge nicht mit den Einsparungen der monetären Fördermaßnahmen addiert werden, weil es dann zu Doppelzählungen kommt.

**Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG):** Mit dem beschlossenen EE-WärmeG (2008) verfolgt die Bundesregierung das Ziel, den Anteil von erneuerbaren Energien am gesamten Wärmeverbrauch von 6,6 % in 2007 auf 14 % bis 2020 zu steigern. Nach dem Gesetz werden Eigentümer von neu errichteten Gebäuden ab

2009 verpflichtet, den Wärmeenergiebedarf durch die anteilige Nutzung von Erneuerbaren Energien zu decken.

Die Nutzung von erneuerbaren Energien in Neubauten gilt als erfüllt, wenn durch solarthermische Anlagen 15 % oder durch die Nutzung von Biomasse, Geothermie oder Umweltwärme 50 % des Wärmeenergiebedarfs gedeckt werden. Bei der Nutzung von solarer Strahlungsenergie ist bei Wohngebäuden mit höchstens zwei Wohneinheiten eine Kollektorgröße von mindestens 4 m<sup>2</sup> je 100 m<sup>2</sup> Nutzfläche zu installieren. Bei größeren Wohngebäuden ist eine Kollektorgröße von mindestens 3 m<sup>2</sup> je 100 m<sup>2</sup> Nutzfläche zu realisieren.

Alternativ gilt die Pflicht als umgesetzt, wenn Ersatzmaßnahmen ergriffen werden. Dabei muss entweder der Wärmeenergiebedarf durch die Nutzung von Abwärme oder hocheffizienten KWK-Anlagen zu mindestens 50 % realisiert werden oder der Jahres-Primärenergiebedarf muss 15 % unter den Anforderungen der jeweils gültigen EnEV liegen. Außerdem ist jeder Eigentümer befreit, der die Wärmeversorgung durch ein Fernwärme- oder Nahwärmenetz sicherstellt. Das Gesetz lässt auch eine Kombination von einzelnen erneuerbaren Energien und Ersatzmaßnahmen zu.

Für die Wohngebäude im Bestand sieht das EEWärmeG keine verpflichtende Nutzung erneuerbarer Energien vor. Stattdessen soll die Förderung von erneuerbaren Energien im Rahmen eines aufgestockten Marktanzreizprogramms verstärkt werden. Zur Schaffung von Investitionsanreizen plant die Bundesregierung, die Fördermittel in den Jahren 2009 bis 2012 auf 500 Mio. Euro pro Jahr zu erhöhen.

Zur Berechnung der Netto-Einsparungen durch das EEWärmeG wird ausschließlich die Neubauwohnfläche des Zeitraums 2009 bis 2030 herangezogen, da die Wirkungen des Marktanzreizprogramms für Erneuerbare Energien separat ausgewiesen werden. Unter der Beachtung der derzeitigen Energieträgerstruktur im Neubau, die in 2006 einen Anteil an erneuerbaren Energien von rund 10 % und für Fernwärme von 9 % aufgewiesen hat, steigt der Anteil bis 2030 für die Fernwärme auf 10,5 % und für die eingesetzten erneuerbaren Energien auf gut 27 %. Die erzielbaren Einsparungen könnten sich bis 2030 auf rund 2,4 Mio. t CO<sub>2</sub> belaufen (vgl. Tabelle 3-32).

**Tabelle 3-32** CO<sub>2</sub>-Einsparungen durch das EEWärmeG im Neubau

		2006	2008	2009	2010	2020	2030
Emissionen im Neubau	Mio. t	0,75	0,70	0,57	0,45	0,34	0,29
Einsparungen durch EEWärmeG	Mio. t	0,00	0,00	0,17	0,14	0,11	0,09
Summe der Einsparungen	Mio. t	0,00	0,00	0,17	0,31	1,46	2,44

Quellen: Berechnungen des Forschungszentrums Jülich, IEF-STE.

Das EEWärmeG ist eine übergreifende Maßnahme und kann nicht mit den berechneten Einsparungen der monetären Fördermaßnahmen addiert werden, da die Maßnahme nicht doppelzählungsfrei ist.

**Novellierung der Heizkostenverordnung:** Die novellierte Fassung der Verordnung zur Bestimmung der Heizkostenabrechnung ist 2009 in Kraft getreten und erhöht den verbrauchsabhängigen Anteil. Dabei sollen nach der novellierten Fassung der Verordnung in Gebäuden, die das Anforderungsniveau der Wärmeschutzverordnung vom 16. August 1994 nicht erfüllen und mit einer Öl- oder Gasheizung versorgt werden, die Kosten des Betriebs der zentralen Heizungsanlage generell 70 % betragen und nach dem erfassten Wärmeverbrauch der Nutzer verteilt werden. Diese Vorgabe der Verordnung gilt für Gebäude in denen die freiliegenden Strangleitungen der Wärmeverteilung überwiegend gedämmt sind. Hierdurch sollen Anreize zu sparsamerem Verhalten verstärkt werden. Ferner soll mit einer Ausnahme von der Anwendung der Verbrauchserfassungspflicht ein Anreiz zur Erreichung des Passivhausstandards bei der Errichtung des Gebäudes bzw. bei der Sanierung von Mehrfamilienhäusern gesetzt werden.

*Tabelle 3-33 Abschätzung der CO<sub>2</sub>-Einsparungen durch den Nutzertyp „Sparer“ im Vergleich zum Standardnutzer bis 2030*

CO <sub>2</sub> -Emissionen		2006	2008	2009	2010	2020	2030
Jährl. Emissionseinsparungen	Mio. t	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,03
Summe der Einsparungen	Mio. t	0,00	0,00	0,02	0,03	0,23	0,47

Quellen: Richter, Bolsius et al. (2008); Berechnungen des Forschungszentrums Jülich, IEF-STE.

In energetisch sanierten Mehrfamilienhäusern, die vor 1978 errichtet worden sind, könnten in Anlehnung an Analysen von Richter, Bolsius, et al. (2008) durch die Verringerung der Rauminnentemperatur von 20 °C um ein Grad auf 19°C gut 0,5 Mio. t CO<sub>2</sub> bis 2030 eingespart werden.

**Deutsche Energie-Agentur (Dena):** Die Dena ist als bundesweites Kompetenzzentrum für Energieeffizienz seit September 2000 tätig. Sie entwickelt Projekte, Programme sowie Kampagnen und regt zukunftsweisende Techniken und Dienstleistungen an. Die gesellschaftlichen Akteure im Bereich Energie werden in Kooperationen und themenbezogenen Netzwerken zusammengeführt. Zentrale Projekte sind derzeit u. a. die Wärme aus Erneuerbaren Energien, Energieausweise für Gebäude, "Zukunft haus" und "Niedrigenergiehaus im Bestand".

Die Informationskampagnen "Wärme aus Erneuerbaren Energien" und "Zukunft haus" informieren Bauherren und Hausbesitzer über energieeffizientes Bauen und Sanieren und geben praktische Tipps. Durch eine intensive Öffentlichkeitsarbeit mit einem sehr breiten Medienspektrum wird zielgruppengenau bei Architekten, Fachplanern und Handwerkern sowie beim Endverbraucher geworben.

Durch das Vorhaben "Dena-Gütesiegel für Energieausweise" soll ein Qualitätssicherungssystem für Energieausweise aufbauend auf einheitlichen Qualifikationsstandards für die Aussteller installiert werden. Zur Sicherung der Qualität können ausschließlich Bedarfsausweise das Gütesiegel erhalten. Durch die automatisierte Datenprüfung und die Stichprobenkontrolle der Aussteller soll ein kontrollierter Qualitätsstandard erreicht werden.

Die Dena hat das Modellvorhaben „Niedrigenergiehaus im Bestand“ entwickelt. Mit diesem Vorhaben wird anhand von Best-Practice-Projekten versucht, energetische Sanierungsstandards auf dem Markt zu etablieren und durch übertragbare, wirtschaftliche Sanierungen zur Nachahmung anzuregen.

Die Maßnahmen, die durch die Dena umgesetzt werden, können in ihrer Gesamtheit nicht bezüglich ihrer Spareffekte quantifiziert werden.

**Weitere weiche Maßnahmen:** Neben den Aktivitäten der Dena sind die Instrumente Information und Motivation, Weiterbildungs- und Qualitätsoffensiven, F&E im Gebäude- und Heizungsbereich sowie die Erneuerung defekter Bauteile weitere weiche Maßnahmen. Sie können nach der Definition der Maßnahmen hinsichtlich ihrer Einsparpotenziale derzeit nicht separat quantifiziert werden.

### 3.2.2.1.3 Strukturwandel-Szenario

Im Strukturwandel-Szenario (SWS) werden neben den im Mit-Maßnahmen-Szenario unterstellten Maßnahmen die folgenden zusätzlichen Handlungsansätze unterstellt:

**Verschärfung der Energieeinsparverordnung (EnEV 2009):** Zur Erhöhung der Energieeffizienz wird ab 2013 eine weitere Verschärfung der wärmetechnischen Anforderungen im Alt- und Neubaubereich in Bezug auf die EnEV 2009 um rund 30 % angenommen.

Zur Berechnung der Einsparungen wird für die neue EnEV 2013 gegen das Niveau der EnEV 2009 gerechnet und die Differenz zwischen der EnEV 2013 und der EnEV 2009 ausgewiesen. Die erzielte kumulative Einsparung der Emissionen würde für den Zeitraum 2013 bis 2030 bei 3,7 Mio. t CO<sub>2</sub> liegen. Dabei würde die Verminderung im Neubaubereich 1,7 Mio. t und im Altbaubereich rund 2,0 Mio. t CO<sub>2</sub> betragen. Tabelle 3-34 zeigt, dass durch die Verschärfungen der primärenergetischen Anforderungen der EnEV 2007 in 2009 und 2013 zusätzlich 10,8 Mio. t CO<sub>2</sub> bis zum Jahr 2030 eingespart werden könnten.

Tabelle 3-34 CO<sub>2</sub>-Einsparungen durch Novellierungen der EnEV bis 2030

		2010	2015	2020	2025	2030
EnEV 2007	Mio. t	2,3	4,7	7,3	10,2	13,2
EnEV 2009 (zusätzl. Einsparungen)	Mio. t	0,4	2,0	3,6	5,3	7,0
EnEV 2009 (Gesamteinsparung)	Mio. t	2,8	6,7	10,9	15,4	20,2
EnEV 2013 (zusätzl. Einsparungen)	Mio. t	0,0	1,4	1,8	2,5	3,7
EnEV 2013 (Gesamteinsparung)	Mio. t	0,0	8,2	12,8	18,0	23,9

Quellen: Berechnungen des Forschungszentrums Jülich, IEF-STE.

Da die EnEV - wie bereits erwähnt - eine übergreifende Maßnahme ist, können die berechneten Energie- bzw. Emissionseinsparungen nicht mit denen der monetären Fördermaßnahmen aufaddiert werden, da die EnEV sich mit nahezu allen anderen Maßnahmen überschneidet und so Doppelzählungen berücksichtigt werden müssen.

**Wärme-Contracting im Mietwohnungsmarkt:** Mit diesem Instrument sollen unter der Berücksichtigung der mietrechtlichen Voraussetzungen von Beyer & Lippert (2008) verstärkt die Energieeinsparpotenziale im Mietwohnungsbau durch Contracting-Projekte erschlossen werden.

Nach der derzeitigen Rechtsprechung gemäß den Aussagen des Bundesgerichtshof darf der Vermieter die Kosten der gewerblichen Wärmelieferung nur auf die Mieter umlegen, wenn der Mietvertrag dies ausdrücklich vorsieht oder alle Mieter eines Mehrfamiliengebäudes einer Änderung des bestehenden Vertrags zustimmen. Eine Anpassung des Bürgerlichen Gesetzbuchs (BGB) zur Lösung des Investor / Nutzer-Dilemmas ist daher erforderlich. Ein derzeit diskutierter Lösungsansatz sieht vor, dass für alle Mietverhältnisse eine einheitliche Regelung geschaffen werden soll. Die Wärmelieferung soll aus neu errichteten Anlagen oder aus Fernwärmenetzen erfolgen und die neuen Wärmelieferungskosten sollen die bisherigen Heizkosten um nicht mehr als 10 % überschreiten (Quint, 2009).

Nach Angaben von Buderus 2005 liegt der Jahresnutzungsgrad der Wärmeversorgung im Mietwohnungsbestand im Jahr 2005 bei rund 70 %. Untersuchungen bezüglich der Altersstruktur der Gas- und Ölkessel belegen, dass aufgrund des hohen Durchschnittsalters des Anlagenbestands ein erheblicher Sanierungsstau vorliegt (Kleemann, 2007).

Die mit Contracting-Projekten in Form von Energieliefer-Verträgen verbundene, effizienzsteigernde Wirkung beruht dabei auf dem betriebswirtschaftlichen Eigeninteresse des Contractors, seine Energieversorgungs- und Dienstleistungsverpflichtungen mit Hilfe einer möglichst effizienten Energietechnik zu erbringen. Die Effizienzsteigerungen durch Contracting führen zu optimierten Jahresnutzungsgraden bei

der Umwandlung von Primärenergie in Wärme. Der erzielbare Einspareffekt durch die Anlagenmodernisierung kann mehr als 30 % betragen. In einer Stichprobenanalyse von Luger (2007) werden Energieeinsparungen durch Contracting bei kompletten Anlagenmodernisierungen von 15 bis 20 % nachgewiesen

Im Rahmen dieses Projekts wird die mögliche Energieeinsparung durch Wärmeliefer-Contracting mit einem steigenden Durchschnittswert des Jahresnutzungsgrades von 20 % angenommen. Der Erneuerungszyklus für Heizkessel wird in diesem Szenario mit 18 Jahren unterstellt und der bewohnte Anteil der Mietwohnungen berücksichtigt.

Die Tabelle 3-35 zeigt vor diesen Hintergründen die Abschätzung der CO<sub>2</sub>-Einsparungen durch Wärme-Contracting. Dabei könnten durch die Umsetzung ab 2013 jährliche Einsparungen von rund 0,7 Mio. t CO<sub>2</sub> bis 2030 erzielt werden. Die kumulativen Emissionseinsparungen würden sich im Jahr 2030 auf 12,6 Mio. t CO<sub>2</sub> belaufen. Die Bereinigung mit den Überschneidungen der Maßnahme „Stärkung des Vollzugs der EnEV“ könnte bis 2030 zu Netto-Einsparungen aufgrund der höheren Differenz der Jahresnutzungsgrade durch den Einbau neuer Heizkesselanlagen von rund 5,8 Mio. t CO<sub>2</sub> führen.

*Tabelle 3-35 Abschätzung der CO<sub>2</sub>-Einsparungen durch Wärme-Contracting bis 2030*

		2010	2015	2020	2025	2030
Nutzungsgraddifferenz	%	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Zusätzliche Emissionseinsparungen	Mio. t	0,00	0,70	0,70	0,70	0,70
Gesamte Emissionseinsparungen	Mio. t	0,00	2,10	5,61	9,12	12,63
Netto-Einsparungen (überschneidungsfrei)						
Zusätzliche Emissionseinsparungen (Netto)	Mio. t	0,00	0,28	0,33	0,34	0,36
Gesamte Emissionseinsparungen (Netto)	Mio. t	0,00	0,79	2,30	3,99	5,78

Quellen: Beyer & Lippert (2008); Berechnungen des Forschungszentrums Jülich, IEF-STE.

**Steigerung der Nachrüstverpflichtungen:** Nach § 10 „Nachrüstung bei Anlagen und Gebäuden“ der EnEV (2009) ist es Eigentümern untersagt, Heizkessel, die mit flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen beschickt werden und vor dem 1. Oktober 1978 in Betrieb genommen worden sind, weiter zu betreiben. Zudem sind die zugänglichen Wärmeverteilung- und Wasserleitungen zu dämmen. Bisher ungedämmte, nicht begehbare, aber zugängliche oberste Geschossdecken sind bis 2012 nachträglich mit einer Dämmung auszustatten (Wärmedurchgangskoeffizient max. 0,24 W/(m<sup>2</sup>K). Ausgenommen von dieser Pflicht sind allerdings alle Wohngebäude mit nicht mehr als zwei Wohnungen, von denen der Eigentümer eine Wohnung am

Stichtag 1. Februar 2002 selbst bewohnt hat. In diesem Fall sind die nachträglichen Dämmvorschriften erst nach einem Eigentümerwechsel zu erfüllen.

Derzeit entspricht der mittlere Erneuerungszyklus für Öl- und Gaskessel zusammen rund 24 Jahre. Entsprechend den Auswertungen der Daten des Schornsteinfegerverbands werden Ölkessel derzeit in einem Alter von 12 bis 37 Jahren (Durchschnitt 25 Jahre) und Gaskessel im Alter von 12 bis 35 Jahren (Durchschnitt 24 Jahre) erneuert (ZIV 2000-2007). Die Zahl der jährlich verkauften Heizungsanlagen ist seit 1998 bis 2007 um rund 40 % gesunken. Hinsichtlich der Energieträger der Wärmeerzeuger waren in 2007 mehr als 48 % der verkauften Kessel Gas-Brennwertkessel (BDH 2008).

Da Brennwertkessel deutlich bessere Wirkungs- und Nutzungsgrade als die heute noch verbreiteten Niedertemperaturkessel haben und Heizkessel, die älter als 18 Jahre sind, bei weitem nicht mehr dem Stand der Technik entsprechen und sehr ineffizient arbeiten, wurde im Strukturwandel-Szenario ein Erneuerungszyklus von 18 Jahren angenommen. Dabei wurde in den Rechnungen unterstellt, dass ab 2013 Heizkessel, die älter als 18 Jahre und keine Niedertemperatur- und Brennwertkessel sind, nicht weiter betrieben werden dürfen. Zudem wurde in den Rechnungen angenommen, dass bei Neuinstallationen von Brennwertkesseln gleichzeitig verstärkt Solaranlagen mit eingebaut werden. Die Kombination der hocheffizienten und wirtschaftlichen Brennwerttechnik mit der Solarthermie stellt einen geeigneten Anlagen-Mix dar und wird gemäß (Kleemann 2007) von heute rund 8 % bis 2020 auf 80 % angehoben. Durch diese Steigerung der Nachrüstverpflichtung könnten die Emissionen bis (2020) 2030 um (2,9) 7,3 Mio. t CO<sub>2</sub> gesenkt werden.

**Intensivierung der Nachweispflichten zur Stärkung des Vollzugs der EnEV:** Gemäß § 26a „Private Nachweise“ der EnEV 2009 sind Veränderungen an bestehenden Gebäuden, die die Bauteile der Gebäudehülle und der Heizungsanlage betreffen, nach dem Abschluss der Arbeiten durch Unternehmer- oder Eigentümererklärungen zu dokumentieren. Hierdurch soll der Vollzug der EnEV durch eine zumindest stichprobenweise Überprüfung verstärkt werden.

Ergänzend wird unterstellt, dass anstelle von mehreren behelfsmäßigen Sanierungen von überalterten Bauteilen durchgreifende Sanierungen angestoßen werden, die durch eine regelmäßige Begutachtung durch Bausachverständige begleitet werden. Die Nachweispflicht der EnEV 2009 wird dabei ab 2013 um das Gutachten eines unabhängigen Bausachverständigen erweitert, das in den notwendigen Energieausweis integriert und durch die zuständigen Behörden überprüft wird.

In den Rechnungen führen die Verbesserung der Sanierungsqualität und die Verkürzung der Renovierungszyklen zu einer Verdopplung der Potenzialausnutzung von 32 % auf 65 % ab 2020. Diese Intensivierung der Nachweispflichten würde bis 2020 zu Emissionseinsparungen von rund 5,0 Mio. t CO<sub>2</sub> führen.

**Heizkostenkürzungsrechte für Mieter:** Auf der Grundlage dieses Instruments soll im Mietwohnungsbau die Einhaltung der EnEV unterstützt werden. Die bisherige Auffassung der Wohnungswirtschaft besteht meistens darin, dass die Betriebskos-

ten als durchlaufende Kosten erklärt werden und somit nicht in der Verantwortung des Mieters liegen. Da die Betriebskosten zunehmend an Bedeutung für die Gesamtkosten des Wohnens gewinnen, ist die Wettbewerbsfähigkeit für die Vermietung der Wohnung nur durch die Warmmiete, die den Gesamtpreis darstellt, langfristig zu erhalten. Durch diesen Paradigmenwechsel würde sich der Vermieter für den „Gesamtpreis der Wohnung“ verantwortlich fühlen und zur Sicherung der Vermietbarkeit der Immobilie beitragen. Die Energiekosten für eine Mietwohnung würden dabei zu einem integralen Bestandteil. Zur Förderung dieses Paradigmenwechsels wären die rechtlichen Bedingungen für Heizkostenkürzungsrechte zu schaffen.

Vergleichbar mit den Regelungen gemäß § 12 in der novellierten Heizkostenverordnung, nachdem der Mieter bei einer nicht verbrauchsabhängigen Abrechnung der Kosten für die Versorgung von Wärme und Warmwasser den auf ihn entfallenden Anteil um 15 % kürzen darf, würde mit diesem Instrument ein Heizkostenkürzungsrecht geschaffen. Zur Handhabung dieses Instruments wären transparente Sachverhalte zu definieren und zu beschreiben, denen ein Kürzungsrecht für Mieter in Form von pauschalen Reduzierungen der Heizkosten gegenüber steht.

In den Berechnungen wird die Annahme getroffen, dass Mietern parallel zur Novellierung der EnEV ab dem Jahr 2013 ein Heizkostenkürzungsrecht in einer Größenordnung von 15 % eingeräumt wird, wenn die Anforderungen an die Dämmung der Gebäudehülle und den Einsatz energieeffizienter Heizungsanlagen nicht gemäß der EnEV umgesetzt werden.

Wird aufgrund des oben genannten Paradigmenwechsels unterstellt, dass der Markt zukünftig Immobilien mit deutlich geringeren Energiekosten erzwingen wird, so führen die Heizkostenkürzungen insbesondere zum zusätzlichen Austausch von veralteten Heizkesseln und zu einer verbesserten Sanierungsqualität.

Bei einer Steigerung der Potenzialausnutzung auf 65 % ab 2020 und einer Verringerung der Erneuerungszyklen auf 18 Jahre würden sich in der Summe bis 2030 erzielbare Einsparpotenziale von 16,8 Mio. t CO<sub>2</sub> ergeben. Bei den Rechnungen zu diesem Instrument ist zu beachten, dass in Bezug zum betrachteten Mietwohnungsbau anteilige Überschneidungen mit den Instrumenten „Steigerung der Nachrüstverpflichtungen“, „Stärkung des Vollzugs der EnEV“ und „Wärme-Contracting“ vorliegen. Die Bereinigung der Brutto-Einsparungen würde netto zu einem CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial von 2,3 Mio. t bis 2030 führen.

Tabelle 3-36 Erzielbare CO<sub>2</sub>-Emissionseinsparungen durch das Instrument „Heizkostenkürzungsrecht für Mieter“ bis 2030

		2010	2015	2020	2025	2030
Brutto-Einsparungen						
Zusätzliche Emissionseinsparungen (Brutto)	Mio. t	0,00	0,95	0,97	0,90	0,72
Gesamte Emissionseinsparungen (Brutto)	Mio. t	0,00	2,94	8,01	11,75	16,80
Überschneidungen mit anderen Instrumenten						
Steigerung der Nachrüstverpflichtungen	Mio. t	0,00	0,37	1,54	2,71	3,88
Stärkung des Vollzugs der EnEV	Mio. t	0,00	1,09	2,68	3,97	4,83
Wärme-Contracting	Mio. t	0,00	0,79	2,30	3,99	5,78
Netto-Einsparungen (überschneidungsfrei)						
Zusätzliche Emissionseinsparungen (Netto)	Mio. t	0,00	0,20	0,11	0,09	0,07
Gesamte Emissionseinsparungen (Netto)	Mio. t	0,00	0,69	1,49	1,89	2,31

Quellen: Berechnungen des Forschungszentrums Jülich, IEF-STE.

**Ausweitung des EE-Wärmegesetzes zur anteiligen Nutzungspflicht von erneuerbaren Energien in Altbauten:** Nach dem bestehenden EEWärmeG wird ein Ausbauziel für die Wärmeversorgung durch erneuerbare Energien von 14 % bis 2020 angestrebt. Hierzu wurde eine anteilige Nutzungspflicht von Erneuerbaren im Neubaubereich eingeführt, die im Altbau mit der Hilfe einer öffentlichen Förderung durch das Marktanzreizprogramm für erneuerbare Energien flankierend ergänzt wird. Die Erreichung des 14 %-Ausbauziels kann durch den Neubaubereich alleine nicht realisiert werden. Da der Gebäudebestand den gewichtigeren Bereich darstellt, sollte mittelfristig - ab 2013 parallel zur geplanten Novellierung der EnEV - die gesetzliche Verpflichtung zur Wärmeversorgung aus Erneuerbaren Energien in Bestandsgebäuden eingeführt werden, wenn gemäß der EnEV Änderungen von mehr als 10 % je Bauteil oder ein Austausch des Heizkessels vorgenommen werden. Die anteilige Nutzung von Erneuerbaren wird entsprechend den Anforderungen im Neubaubereich in den Berechnungen unterstellt. Die Erweiterung auf den Gebäudebestand kann vorab durch die Anreizwirkungen der öffentlichen Förderung wie beispielsweise das Marktanzreizprogramm für Erneuerbare Energien vorbereitet werden.

Bei der Umsetzung dieses Instruments ab 2013 würden die kumulierten Emissionseinsparungen bis 2030 ohne die Beachtung anderer Maßnahmen dieses Szenarios zu gut 12 Mio. t CO<sub>2</sub> führen. Aufgrund der Überschneidungen mit anderen Maßnahmen (s. Tabelle 3-37) sind die Brutto-Einsparungen zu bereinigen. Damit es zu keinen Doppelzählungen bei den Wirkungen der Einzelmaßnahmen kommt, werden

Netto-Einsparungen, die nur durch diese Maßnahme ausgelöst werden, ermittelt. Danach würden sich die überschneidungsfreien Netto-Emissionseinsparungen auf gut 4 Mio. t CO<sub>2</sub> belaufen.

*Tabelle 3-37 Abschätzung der CO<sub>2</sub>-Einsparungen durch die Verpflichtung für Altbauten zur anteiligen Nutzung von Erneuerbaren Energien bei energetischen Sanierungen bis 2030*

		2010	2015	2020	2025	2030
Brutto-Einsparungen						
Gesamte Emissionseinsparungen (Brutto)	Mio. t	0,00	1,75	5,36	8,74	12,14
Überschneidungen mit anderen Instrumenten						
Marktanreizprogramm EE	Mio. t	0,00	0,66	2,30	3,91	5,50
Steigerung der Nachrüstverpflichtungen	Mio. t	0,00	0,22	0,55	0,83	1,12
Heizkostenkürzungsrechte	Mio. t	0,00	0,12	0,29	0,44	0,59
Wärme-Contracting	Mio. t	0,00	0,16	0,42	0,62	0,84
Netto-Einsparungen (überschneidungsfrei)						
Zusätzliche Emissionseinsparungen (Netto)	Mio. t	0,00	0,21	0,27	0,23	0,23
Gesamte Emissionseinsparungen (Netto)	Mio. t	0,00	0,59	1,81	2,94	4,09

Quellen: Berechnungen des Forschungszentrums Jülich, IEF-STE.

**Wärme-EEG für Großgeräte:** Das EEG ist derzeit die gesetzliche Grundlage für den Ausbau der Erneuerbaren Energien im Strombereich und verpflichtet die Stromnetzbetreiber, Anlagen, die Strom aus Erneuerbaren Energien erzeugen, vorrangig an ihr Netz anzuschließen sowie den erzeugten Strom abzunehmen und zu vergüten. Der Preis für den Strom wird durch das EEG geregelt und ist über einen Zeitraum von 20 Jahre mit sinkender degressiver Vergütung garantiert. Je nach Energiequelle, Anlagengröße und Standort kann der Preis unterschiedlich hoch sein.

Für den Ausbau der Erneuerbaren Energien im Wärmemarkt ist mit dem EEWärmeG eine Pflicht zur anteiligen Nutzung Erneuerbarer Energien ab 2009 eingeführt worden. Der Ausbau im Bestand wird mit dem Marktanreizprogramm gefördert. Neben der Einführung einer Nutzungspflicht könnte der verstärkte Ausbau regenerativer Energien durch ein Fördergesetz für Großgeräte gesteigert werden. Im Folgenden wird aus diesem Grund die Übertragung des EEG auf den Wärmemarkt auf der Basis des Bonusmodells von Nast und Leprich (2002) und Nast, Langniß et al. (2005) analysiert.

Eine mögliche Variante des Bonusmodells könnte darin bestehen, dass der Wirkungsbereich dieses Instruments zunächst nur auf größere Anlagen beschränkt wird. Für die Berechnung der Einsparungen konzentriert sich das Bonusmodell beim Fortbestand des Marktanreizprogramms auf Großanlagen. Die Grenze liegt nach Nast, Leprich et al. (2006) bei solarthermischen Anlagen bei 100 m<sup>2</sup> Kollektorfläche und bei Biomasse-Zentralheizungen bei einer Nennwärmeleistung von 50 kW. Durch diese Maßnahme könnten jährlich rund 15 Mio. m<sup>2</sup> Wohnfläche versorgt werden. Bei einer Wirkung von insgesamt 8 Jahren von 2013 bis 2020 würde dies im Jahr 2020 eine Gesamtversorgung von ungefähr 120 Mio. m<sup>2</sup> Wohnfläche bedeuten.

Unter diesen Annahmen könnten bis 2020 (2030) zusätzliche Emissionseinsparungen von 2,6 Mio. t CO<sub>2</sub> (5,6 Mio. t CO<sub>2</sub>) erzielt werden.

**Durchsetzung eines Fernwärmeanschlusszwangs:** Mit dem EEWärmeG wird eine Pflicht zur anteiligen Nutzung von Erneuerbaren Energien eingeführt. Dabei können neben solarer Strahlungsenergie und Wärmepumpen auch andere Erneuerbare Energien, sowie KWK (z. B. Fernwärme oder Brennstoffzellen) zum Einsatz kommen. Kommunen können zudem nach §16 des EEWärmeG (2008) einen Anschluss- und Benutzungszwang an ein Netz der öffentlichen Nah- und Fernwärmeversorgung zum Zwecke des Klima- und Ressourcenschutzes festlegen. Damit sollen Hemmnisse für den Ausbau von erneuerbaren Energien im Wärmebereich abgebaut und fossile Energiesysteme besser mit Erneuerbaren vernetzt werden.

Neben dem EEWärmeG wurde mit dem integrierten Energie- und Klimaprogramm eine Verdopplung des Anteils von Strom aus Kraft-Wärme-Kopplung bis 2020 auf etwa 25 % beschlossen. Um dieses Ziel mit KWK-Strom zu erzielen, muss ein erhebliches Ausbaupotenzial für Nah- und Fernwärme erschlossen werden. Demnach müssten im Zeitraum 2009 bis 2020 jährlich rund 2.700 MW/a im Mittel neu angeschlossen werden (AGFW 2008; Lutsch 2008). Dieses Ausbaupotenzial liegt schwerpunktmäßig in Städten mit 20.000 bis 150.000 Einwohnern in den alten Bundesländern und in Neubaugebieten (AGFW 2005).

Bei der Betrachtung der Auswirkungen eines 40%-Treibhausgasminderungsziels bis 2020 auf die Fernwärmeversorgung in der Studie der AGFW (2005) fällt auf, dass trotz Energieeinsparungen durch energetische Sanierungen ein Ausbau der Nah- und Fernwärme erfolgt. Diese Entwicklung wird neben einem beschränkten Netzausbau mit einer weiteren Verdichtung der Fernwärmeversorgung begründet. Diese Annahmen werden durch die Studie von (Fishedick, Schüwer et al. 2006) gestützt. Folgt man diesen Annahmen könnten Netto durch die Anwendung eines Anschluss- und Benutzungszwangs zusätzliche Emissionen von 3,8 Mio. t CO<sub>2</sub> bis 2030 eingespart werden.

**Anreize zur Modernisierung und zum Einsatz EE durch Reduktion der Mehrwertsteuer:** Die Modernisierung des Gebäudebestandes zählt zu den wirkungsvollsten Energiesparmaßnahmen. Zur Anhebung der Nachfrage nach energetischen Sanierungen stellt nach VFF (2008) die Ermäßigung der Mehrwertsteuer auf 7 % für Produkte und Dienstleistungen, die zur Modernisierung von Altbauten beitragen, ein geeignetes Mittel dar. Ziel der Maßnahme ist es, zusätzliche energetische Sanierungen anzustoßen und private Investitionen zu unterstützen. Denn hierdurch könnten energetische Sanierungsmaßnahmen besser finanzierbar werden und Verbraucher einen zusätzlichen Anreiz zur Modernisierung bekommen.

Hinsichtlich der Wirkungen stehen Mindereinnahmen des Staates zusätzliche Investitionen im Bereich des Wohnungsbaus gegenüber, die Einsparungen an Energieträgern ermöglichen und eine zusätzliche Nachfrage erzeugen könnten.

In den Berechnungen wird unterstellt, dass für Bauleistungen, die das EnEV – Niveau unterschreiten, die MWSt. ab 2013 auf 7 % reduziert wird.

Mit der Umsetzung dieses Instruments könnten bis 2030 zusätzliche Emissionen von 5,9 Mio. t CO<sub>2</sub> vermindert werden.

**Abrissprämien für den Bestandsersatz von nicht mehr marktfähigen Altbauten:** Nach den Prognosen des Statistischen Bundesamtes schrumpft die Bevölkerung in Deutschland. Andererseits werden für die Wachstumsregionen steigende Bevölkerungsentwicklungen vorhergesagt. Dies bedeutet zugleich, dass aufgrund der zu erwartenden Bevölkerungsverteilungen in anderen Regionen die Leerstände zunehmen werden. Dabei stellt sich insbesondere die Frage wie zukünftig mit leerstandsgefährdeten Mietsgebäuden im Bestand von eher strukturschwachen Regionen verfahren werden soll. Eine wirtschaftliche Durchführung von energetischen Sanierungen für diese Bestandsgebäude ist nahezu ausgeschlossen. Als Alternative zur Sanierung dieser nicht mehr marktfähigen Altbauten könnte eine Abrissprämie für den Bestandsersatz verbunden mit einer nachhaltigen Neubauförderung dienen. Hierdurch könnten Emissionen reduziert und Investitionstätigkeiten in diesen eher strukturschwachen Regionen neu angeregt werden.

Zur Einführung dieses Instruments wird in den Rechnungen angenommen, dass der Bestandsersatz von nicht mehr marktfähigen Mehrfamiliengebäuden zur Erhöhung der jährlichen Abrissrate von 0,2 % auf 0,4 % führt. In der Summe könnten von 2013 bis 2030 rund 50 Mio. m<sup>2</sup> zusätzlich abgerissen werden, die gemäß der Annahme unter den Anforderungen für Neubauten wieder neu errichtet werden. Da die sehr sanierungsbedürftigen Altbauten vor dem Abriss aufgrund der Marktbedingungen keiner größeren Sanierungsmaßnahme unterzogen werden, liegen keine Überschneidungen mit anderen Instrumenten vor. Die emissionsseitigen Gesamteinsparungen könnten sich bis 2030 für die Einführung dieses Instruments auf gut 2,2 Mio. t CO<sub>2</sub> belaufen.

*Tabelle 3-38 Berechnung der CO<sub>2</sub>-Einsparungen durch den Ersatz von Altbauten durch Neubauten bis 2030*

		2010	2015	2020	2025	2030
Bestandersatz durch Neubauten	Mio. m <sup>2</sup> /a	0,00	1,77	2,95	2,95	2,95
Zusätzliche Emissionseinsparungen	Mio. t	0,00	0,08	0,14	0,14	0,14
Gesamte Emissionseinsparungen	Mio. t	0,00	0,17	0,81	1,51	2,21

Quellen: Berechnungen des Forschungszentrums Jülich, IEF-STE.

**Verschärfung der KfW-Programme bezüglich der Energieeffizienz:** Parallel zur nochmaligen Verschärfung der EnEV 2009 ab 2013 um 30 % könnten die Förderstufen der Programme für energieeffizientes Bauen und Sanieren angepasst werden. Im Gebäudebestand könnten energetische Sanierungsvorhaben, durch die das EnEV-Neubau-Niveau erreicht wird, speziell gefördert werden. Durch die Umsetzung dieser Maßnahme könnten bis 2030 weitere 3,6 Mio. t CO<sub>2</sub> eingespart werden.

*Tabelle 3-39 Berechnung der zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Einsparungen durch die Steigerung der Energieeffizienz der KfW-Programme bis 2030*

		2010	2015	2020	2025	2030
Zusätzliche Emissionseinsparungen	Mio. t	0,00	0,10	0,22	0,22	0,22
Gesamte Emissionseinsparungen	Mio. t	0,00	0,30	1,40	2,50	3,60

Quellen: Berechnungen des Forschungszentrums Jülich, IEF-STE.

**Energieeffizienz als mietspiegelrelevanter Inhalt:** Die energetische Qualität eines Wohngebäudes wird derzeit in den meisten Mietspiegeln nicht erfasst. Bisher sind lediglich mit der Energieeffizienz zusammenhängende Merkmale, wie die Art der Heizung und die Dämmeigenschaft im Mietspiegel enthalten. Dies liegt darin begründet, dass eine Erhebung der Energieeffizienz eines Gebäudes nur mit hohem Aufwand möglich war und weil diese Thematik von hoher technischer Komplexität ist. Durch die Einführung des Energieausweises müsste zukünftig die Erfragung der wärmetechnischen Beschaffenheit einer Wohnung auch in einer Mieterbefragung möglich sein. Eine Prämisse für eine Aufnahme des Merkmals "Energieeffizienz" in den Mietspiegel ist die Beobachtbarkeit für Mieter und Vermieter und ein eindeutiger Zusammenhang zwischen dem Merkmal und der Miethöhe. Durch diese Maßnahme könnte eine gesteigerte Energieeffizienz durch energetische Sanierungen zu einem mietspiegelrelevanten Inhalt führen. Denn mit der Einführung eines Mietspiegels, der u.a. die Energieeffizienz eines Wohngebäudes bewertet, können Rahmenbedingungen für Energiesparmaßnahmen strukturell verbessert werden. Einerseits profitiert der Vermieter durch eine verbesserte Rentabilität und andererseits der Mieter durch eine erhöhte Mietgerechtigkeit.

Durch dieses Instrument wird in den Berechnungen ein zusätzlicher Anstieg der Potenzialausnutzung von jährlich 2 % von 2013 bis 2020 unterstellt, da von einer steigenden Ausschöpfung der Sanierungspotenziale in diesem Zeitraum ausgegangen wird. D.h., die Ausnutzung der Sanierungspotenziale erhöht sich von 49 % in 2013 auf 67 % bis 2020 und verbleibt bis 2030 auf diesem Niveau. Die zusätzlich steigende Energieeffizienz in Mietgebäuden würde zu CO<sub>2</sub>-Emissionseinsparungen von rund 2,9 Mio. t führen und ist gemäß der nachfolgenden Tabelle um die Steigerung der Nachrüstverpflichtungen in Mietsgebäuden zu bereinigen. Daraus folgen bis 2030 zusätzliche überschneidungsfreie CO<sub>2</sub>-Einsparungen von knapp 1 Mio. t CO<sub>2</sub>.

*Tabelle 3-40 Bestimmung der zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Einsparungen durch das Instrument „Energieeffizienz als mietspiegelrelevanter Inhalt“ bis 2030*

		2010	2015	2020	2025	2030
Brutto-Einsparungen						
Zusätzliche Emissionseinsparungen (Brutto)	Mio. t	0,00	0,11	0,18	0,17	0,16
Gesamte Emissionseinsparungen (Brutto)	Mio. t	0,00	0,32	1,21	2,04	2,86
Überschneidungen mit anderen Instrumenten						
Steigerung der Nachrüstverpflichtungen	Mio. t	0,00	0,16	0,74	1,33	1,92
Zusätzliche Netto-Einsparungen (überschneidungsfrei)						
Zusätzliche Emissionseinsparungen (Netto)	Mio. t	0,00	0,06	0,06	0,05	0,05
Gesamte Emissionseinsparungen (Netto)	Mio. t	0,00	0,17	0,46	0,71	0,94

Quellen: Berechnungen des Forschungszentrums Jülich, IEF-STE.

**Weiche Maßnahmen:** Das Instrument „Verstärkung von Energieforschung und Innovation“ ist eine weiche Maßnahme und kann hinsichtlich ihres Einsparpotenzials derzeit nicht quantifiziert werden.

### 3.2.2.2 Methodik

Zur rechnerischen Ermittlung des zukünftigen Energieverbrauchs für die Wärmebereitstellung im Gebäudesektor wird das IKARUS – Raumwärmemodell eingesetzt. Das Modell berechnet auf der Grundlage einer umfassenden Gebäude- und Heizungstypologie den Heizwärmebedarf, den Bedarf an Brennstoffen und die CO<sub>2</sub>-Emissionen. Mit den Typologien der Datenbank der Gebäude, in der alle relevanten Alters- und Größenklassen sowie die Heizungs- und Warmwassersysteme enthalten sind, kann der gesamte Gebäudebestand in Deutschland abgebildet werden.

Die Auswirkungen verschiedener Wärmedämm-Maßnahmen an der Gebäudehülle und verschiedener Maßnahmen zur Heizungsanlagenverbesserung können im Modell für ein Einzelgebäude berechnet werden. Dabei können alle Systemparameter variiert werden, so dass grundsätzlich die Auswirkungen aller möglichen Maßnahmen gerechnet werden können. Die zu untersuchenden Maßnahmen werden dabei dem Modell modellexogen vorgegeben.

Die Gesamtwerte des Energieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen für einen Gebäudebestand ergeben sich, wenn von den einzelnen berechneten Typgebäuden mit den relativen Flächenanteilen dieser Typgebäude an den jeweiligen Gesamtflächen hochgerechnet wird.

Das IKARUS-Raumwärmemodell ist ein dynamisches Simulationsmodell, das die zeitabhängige Entwicklung in Form von Szenarien simuliert. Bei der Durchführung von Szenariorechnungen wird das Modell zuerst auf den vereinbarten Ausgangszustand in einem bestimmten Referenzjahr angepasst und zur Modelljustierung werden die realen Daten des Bezugsjahres verwendet.

Die Entwicklungen des Gebäudebestands, der Heizungsstrukturen und der Wärmeschutzstandards werden durch Rahmendaten in ihrer zeitlichen Abfolge vorgegeben. Durch diese Vorgehensweise ist es möglich, sowohl Einzelmaßnahmen als auch unterschiedliche Maßnahmenkombinationen zu simulieren. Damit berechnet das Modell die resultierenden Wirkungen über einen bestimmten Zeitraum. Für jedes Jahr wird in diesem Betrachtungszeitraum die gesamte Typologie berechnet.

### 3.2.2.3 Annahmen und Parameter

#### 3.2.2.3.1 Leitparameter für die Analyse der Gebäude

Die Leitparameter aus der Bau- und Heizungspraxis gehen direkt in die Modellrechnungen ein und beeinflussen die erreichbare CO<sub>2</sub>-Einsparung. Die relevanten Parameter sind die Renovierungszyklen der Gebäudehülle und der Heizungen, die Ausschöpfung der Sanierungspotenziale (Potenzialausnutzung) im Altbaubereich und der Mehrverbrauch im Neubaubereich aufgrund von Nutzerverhalten und abweichenden Gebäudeeigenschaften.

- Die *Renovierungszyklen* der Bauteile werden von den technischen Lebensdauern bestimmt. Die Zahlen aus der Sanierungspraxis variieren in einem relativ großen Bereich mit einer bestimmten Häufigkeitsverteilung. Gründe für die Streubreite sind die unterschiedliche Qualität der Bauteile, die unterschiedliche Belastung bei der Nutzung und der mögliche Einfluss von Reparaturen.
- Die jährlichen Erhebungen des Schornsteinfegerverbands (ZIV 2000-2007) zeigen, dass Ölkessel im Mittel in einem Alter von 25 Jahren und Gaskessel im Alter von 24 Jahren erneuert werden. In den Rechnungen ist ein mittlerer *Erneuerungszyklus* von 23 Jahren unterstellt worden.

- Die Ausschöpfung der *Sanierungspotenziale* durch die energetische Sanierung der Gebäudehülle wird aufgrund der Untersuchungen von Hansen & Kleemann (2005) als unzureichend eingeschätzt. Dieser unzureichende Zustand wird durch die Kennzahl „Potenzialausnutzung“ erfasst und gibt das Verhältnis der tatsächlich erreichten Einsparungen zu den maximal möglichen Einsparungen an. Die derzeitige Sanierungspraxis wird durch einen Wert von nur 32 % beschrieben. Bei den Szenarioanalysen wird zugelassen, dass sich die Potenzialausnutzung durch zusätzliche Minderungsmaßnahmen verbessern kann. So wird im Strukturwandel-Szenario eine Potenzialausnutzung von 65 % erreicht.
- In der Untersuchung von Hansen & Kleemann (2005) wird gegenüber dem genormten Verfahren in Neubauten ein tatsächlicher *Mehrverbrauch* von im Mittel 31 % festgestellt. In den Berechnungen kann aufgrund der Wirkungen der Instrumente eine Verringerung dieses Mehrverbrauchs bei Neubauten auf rund 15 % erreicht werden.

Tabelle 3-41 Bereich der technischen Lebensdauer von Bauteilen in Jahren

in Jahren	Min.	Max.
Fassaden	30	60
Steildach	40	60
Flachdach	20	40
Fenster	25	40
Isolierverglasung	20	35

Quellen: Gruson (1993); eigene Schätzungen IEF-STE.

### 3.2.2.3.2 Definition der Szenarien

Im fiktiven *Ohne-Maßnahmen-Szenario* wird unterstellt, dass durch die Einzelmaßnahmen und politischen Instrumente keine Sanierung der Gebäudehüllen erfolgt und dass keine Heizungsanlage erneuert wird. Es werden jedoch die energetischen Änderungen, die außerhalb der politischen Instrumente und somit autonom durchgeführt werden, abgebildet. Die Energieverbräuche im Bestand verändern sich entsprechend den Änderungen der autonomen Maßnahmen. Berücksichtigt werden zudem Bestandsveränderungen durch Abrisse und Neubauten und die dadurch verursachten Verbrauchsänderungen. Dieses Szenario dient als Berechnungsniveau für die berechneten Einsparungen in den anderen Szenarien.

Das *Mit-Maßnahmen-Szenario* zeigt dagegen die Auswirkungen der derzeit ergriffenen Maßnahmen und Instrumente. Die Trends der laufenden Minderungsmaßnahmen und sonstiger Modernisierungsaktivitäten werden bis 2030 fortgeschrieben. Die finanzielle Förderung wird im Wesentlichen auf dem Niveau von 2007 bzw. 2008 bis zum Ende des Zeithorizonts 2030 festgeschrieben. Die Trends der technologischen Entwicklungen werden extrapoliert. Zusätzlich werden die Wirkungen der beschlossenen Novellierung der EnEV und der 1. Stufe der Heizkostenverordnung sowie des Erneuer-

bare-Energien-Wärmegesetzes ab 2009 berücksichtigt. Die Potenzialausnutzung, die das Sanierungsverhalten der Gebäudebesitzer in der Praxis beschreibt, wird im Mit-Maßnahmen-Szenario für das Ausgangsjahr 2006 auf den Wert von 32 % gesetzt und bis 2030 mit einer Steigerung auf 42 % berücksichtigt.

Für das *Strukturwandel-Szenario* wird angestrebt, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2030 auf ein deutlich niedrigeres Niveau als im Mit-Maßnahmen-Szenario reduziert werden. Dabei werden zusätzliche Maßnahmen zur Verbesserung der Effizienz und einer Forcierung des Einsatzes erneuerbarer Energien berechnet. Der Altbausanierung kommt dabei wegen der großen Einsparpotenziale eine Schlüsselrolle zu. Die Potenzialausnutzung wird für das Ausgangsjahr 2006 auf den Wert von 32 % gesetzt und steigt bis 2020 auf 65 % an und verbleibt bis 2030 auf diesem Niveau. Im Falle von Überschneidungen mit anderen Einzelmaßnahmen werden die überschneidungsfreien Netto-Einsparungen mit Hilfe des Modells ermittelt.

### **3.2.2.4 Ergebnisse der Projektionen**

#### *3.2.2.4.1 Vorbemerkungen*

Die Bilanzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen für den Haushaltssektor erfolgt nach dem international üblichen Quellenprinzip. Danach werden die aus der Strom- und Fernwärmenutzung im Wohngebäudebereich entstehenden Emissionen nicht dem Haushaltssektor sondern dem Energiesektor angerechnet. Die Emissionen werden hier für die Raumwärmeerzeugung und die Warmwasserbereitstellung im Sektor Private Haushalte berechnet, wobei immer nur die Summe angegeben wird.

Die Entwicklung der Vergangenheitswerte liegt bis 2005 vor. Für das Jahr 2006, welches als Ausgangsjahr für die Szenarioanalysen dient, muss das Ausgangsniveau der CO<sub>2</sub>-Emissionen ermittelt werden. Um jährliche witterungsbedingte Schwankungen auszugleichen, wird der Mittelwert der Fünfjahresperiode 2001-2005 zugrunde gelegt.

### 3.2.2.4.2 Mit-Maßnahmen-Szenario

In der Tabelle 3-42 sind die Abschätzungen der CO<sub>2</sub>-Minderungseffekte für die einzelnen Einzelmaßnahmen zusammengestellt. Unter den monetären Fördermaßnahmen liefern das KfW-Programm Energieeffizientes Sanieren mit 12,1 Mio. t und das Marktanzreizprogramm für Erneuerbare Energien mit insgesamt rund 8,0 Mio. t CO<sub>2</sub> die größten Beiträge.

Die ordnungsrechtlichen Maßnahmen der Novellierung der EnEV ab Herbst 2009 sowie die Einführung des Erneuerbaren-Energien-Wärmegesetzes (EEWärmeG) führen in der Summe zu Emissionseinsparungen von 9,4 Mio. t CO<sub>2</sub>. Da diese Instrumente übergreifende Maßnahmen und nicht doppelzählungsfrei sind, können die Einsparungen mit den monetären Fördermaßnahmen nicht addiert werden.

**Tabelle 3-42** Maßnahmen-spezifische CO<sub>2</sub>-Einsparungen im Mit-Maßnahmen-Szenario

Maßnahme / Umsetzung / Institution	Typ	Beschreibung / Ziele (Wirkungsbereich)	Umsetzungsstand (Wirkungsbereich)	Direkte Emissionsminderungseffekte				
				2010	2015	2020	2025	2030
				Mio. t CO <sub>2</sub> -Äqu.				
Energieeffizientes Sanieren	F	monetäre Förderung	ab 2001	3,4	5,5	7,7	9,9	12,1
Energieeffizientes Bauen	F	monetäre Förderung	ab 2005	0,4	0,7	1,1	1,4	1,7
Stadtumbau Ost	F	monetäre Förderung	ab 2002	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2
Soziale Wohnraumförderung	F	monetäre Förderung	ab 2001	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2
Energieberatung Vor-Ort	F	monetäre Förderung	ab 2006	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8
Marktanzreizprogramm EE Solar	F	monetäre Förderung	ab 1999	0,6	1,1	1,7	2,2	2,7
Marktanzreizprogramm EE Biomasse	F	monetäre Förderung	ab 1999	0,8	1,7	2,7	3,7	4,6
Marktanzreizprogramm EE Wärmepumpe	F	monetäre Förderung	ab 2008	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7
KfW-Wohneigentumsprogramm	F	monetäre Förderung	ab 1996	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,6
Novellierung der Energieeinsparverordnung	R	Ordnungsrecht	ab 10/2009	0,4	2,0	3,6	5,3	7,0
Erneuerbares-Energien-Wärmegesetz	R	Ordnungsrecht	ab 2009	0,3	0,9	1,5	1,9	2,4
Novellierung der Heizkostenverordnung	R	Ordnungsrecht	ab 2009	0,0	0,1	0,2	0,3	0,5
Dena	I/O/ET							
Information und Motivation	I/O							
Weiterbildungs- und Qualitätsoffensiven	D							
F&E im Gebäude- und Heizungsbereich	ET							
Abzüge wegen Überschneidungen				0,7	2,9	5,1	7,2	9,4
<b>Ungewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen</b>				6,0	12,5	19,1	25,7	32,3
<b>Gewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen (ohne Überlagerungseffekte)</b>				5,3	9,6	14,0	18,5	22,9

Quelle: Berechnungen Forschungszentrum Jülich, IEF-STE.

3.2.2.4.3 Strukturwandel-Szenario

Die größten Einzelbeiträge im Bereich der CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2030 liefern die Stärkung des Vollzugs der EnEV<sup>11</sup> mit 9,1 Mio. t und die Steigerung der Nachrüstverpflichtungen mit 7,3 Mio. t CO<sub>2</sub>. Durch das Wärme-Contracting und durch die Absenkung des Mehrwert-Steuersatzes auf 7 % für Produkte und Dienstleistungen, die zur Modernisierung von Altbauten beitragen, könnten nach den Abschätzungen weitere 5,8 und 5,9 Mio. t CO<sub>2</sub> eingespart werden (vgl. Tabelle 3-43).

Tabelle 3-43 CO<sub>2</sub>-Einsparungen der Instrumente im Strukturwandel-Szenario

Maßnahme/ Umsetzung/ Institution	Typ	Beschreibung / Ziele (Wirkungsbereich)	Umsetzungs- stand (Wirkungs- beginn)	Direkte Emissionsminderungseffekte				
				2010	2015	2020	2025	2030
				Mio. t CO <sub>2</sub> -Äqu.				
Stärkung des Vollzugs der EnEV	R	Ordnungsrecht	ab 2013	0,0	2,0	5,0	7,5	9,1
Steigerung der Nachrüstverpflichtungen	R	Ordnungsrecht	ab 2013	0,0	0,7	2,9	5,1	7,3
Steuererleichterungen (MWSt.-Senkung)	F	Monetäre Förderung	ab 2013	0,0	0,6	2,7	4,3	5,9
Wärme-Contracting	F	Monetäre Förderung	ab 2013	0,0	0,8	2,3	4,0	5,8
Wärme EEG für Großgeräte	F	Monetäre Förderung	ab 2010	0,3	1,1	2,6	4,1	5,6
EEWärmeG für Altbauten	R	Ordnungsrecht	ab 2013	0,0	0,6	1,8	2,9	4,1
"Fernwärmeanschlusszwang"	R	Ordnungsrecht	ab 2010	0,4	1,3	2,2	3,0	3,8
Verschärfung der EnEV 2009	R	Ordnungsrecht	ab 2013	0,0	0,6	1,7	2,7	3,7
Verschärfung KfW-Programme	F	Monetäre Förderung	ab 2013	0,0	0,3	1,4	2,5	3,6
"Heizkostenkürzungsrecht"	R	Ordnungsrecht	ab 2013	0,0	0,7	1,5	2,0	2,3
"Abriss statt Sanierung"	F	Monetäre Förderung	ab 2013	0,0	0,2	0,8	1,5	2,2
Energieeffizienz im Mietspiegel	R	Ordnungsrecht	ab 2013	0,0	0,2	0,4	0,7	0,9
Energieforschung & Innovation	F		ab 2010					
Abzüge wegen Überschneidungen				0,0	0,6	1,7	2,7	3,7
<b>Ungewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen</b>				0,7	9,0	25,3	40,3	54,4
<b>Gewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen (ohne Überlagerungseffekte)</b>				0,7	8,4	23,6	37,6	50,6

Quelle: Berechnungen Forschungszentrum Jülich, IEF-STE.

<sup>11</sup> Steigerung des Einsparverhältnisses von 54 % im Jahr 2006 auf rund 80 % bis 2020 im Strukturwandel-Szenario.

### 3.2.2.4.4 Vergleich des Endenergiebedarfs und der Emissionseinsparungen in den Szenarien

Die Entwicklung des Endenergiebedarfs für die Bereiche Raumwärme und Warmwasser ist in der Tabelle 3-44 inklusive Fernwärme und Strom aufgeführt. Der Endenergieverbrauch sinkt gegenüber 1990 (bzw. 2006) bis zum Jahr 2020 im Mit-Maßnahmen-Szenario um 4 % (bzw. 10 %) und im Strukturwandel-Szenario um 18 % (bzw. 23 %). Bis 2030 kann der Endenergieverbrauch gegenüber 2006 im Mit-Maßnahmen-Szenario um 20 % und im Strukturwandel-Szenario mit 48 % nahezu halbiert werden.

Tabelle 3-44 Entwicklung der Endenergiebedarfs in den Szenarien bis 2030

	1990	2005	2006	2010	2015	2020	2025	2030
	in PJ							
Entwicklung 1990 - 2005	2.188	2.334						
Referenz-Szenario			2.332	2.282	2.198	2.102	1.993	1.868
Strukturwandel-Szenario			2.332	2.273	2.095	1.801	1.509	1.219
	Veränderung ab 1990 in %							
Referenz-Szenario			7	4	0	-4	-9	-15
Strukturwandel-Szenario			7	4	-4	-18	-31	-44
	Veränderung ab 2006 in %							
Referenz-Szenario			0	-2	-6	-10	-15	-20
Strukturwandel-Szenario			0	-3	-10	-23	-35	-48

Quellen: AGEB (2008), Berechnungen Forschungszentrum Jülich, IEF-STE.

Der Einsatz der fossilen Energieträger geht nach den Berechnungen im Mit-Maßnahmen-Szenario bis zum Jahr 2020 um insgesamt 245 PJ zurück. Im Strukturwandel-Szenario sinkt der Verbrauch fossiler Energieträger bis 2020 um knapp 500 PJ. Mehr als 60 % der Endenergieeinsparungen von fossilen Energieträgern können auf den Rückgang des Einsatzes von Heizöl zurückgeführt werden.

In der Tabelle 3-45 sind die gesamten Emissionseinsparungen im Bereich Raumwärme und Warmwasser der Privat-Haushalte aufgeführt.

Durch die im Mit-Maßnahmen-Szenario analysierten Maßnahmen verringern sich die Treibhausgasemissionen von 2005 bis 2020 um rund 14 Mio. t CO<sub>2</sub> auf 102 Mio. t und bis 2030 um weitere ca. 15 Mio. t CO<sub>2</sub> auf 87 Mio. t. Das entspricht für die gesamten Emissionseinsparungen einer Minderungsrate von 12% bzw. 25% für den Zeitraum 2005 bis 2020 bzw. 2030. Bezogen auf das Basisniveau von 1990 ergeben sich Emissionsminderungen von 22% (2020) und 34% (2030).

Die untersuchten Instrumente des Strukturwandel-Szenarios senken die Treibhausgasemissionen im Sektor Private Haushalte im Vergleich zum Mit-Maßnahmen-Szenario bis 2020 bzw. 2030 um weitere 24 bzw. 50 Mio. t CO<sub>2</sub> auf insgesamt 79 bzw. 36 Mio. t. Im Vergleich zum Jahr 1990 entspricht dies einer Reduzierung der gesamten Emissionen nach Tabelle 3-45 bis 2020 von mehr als 40 % und bis 2030 von etwa 72 %. Bezogen auf die Emissionsniveaus von 2005 ergeben sich Treibhausgasminderungen von 32 % (2020) bzw. knapp 69 % (2030).

In beiden Szenarien dominieren die Entwicklungen im Bereich der CO<sub>2</sub>-Emissionen, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O spielen nur eine untergeordnete Rolle.

Tabelle 3-45 Emissionseinsparungen bis 2030 im Vergleich der Szenarien

	1990	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	kt CO <sub>2</sub> -Äqu.						
CO <sub>2</sub> -Emissionen							
Entwicklung 1990 - 2005	129.474	115.028					
Mit-Maßnahmen-Szenario			113.340	107.468	101.003	93.874	85.931
Strukturwandel-Szenario			112.534	98.560	77.450	56.411	35.525
CH <sub>4</sub> -Emissionen							
Entwicklung 1990 - 2005	1.200	691					
Mit-Maßnahmen-Szenario			677	689	698	706	710
Strukturwandel-Szenario			667	693	708	721	735
N <sub>2</sub> O-Emissionen							
Entwicklung 1990 - 2005	802	438					
Mit-Maßnahmen-Szenario			442	427	410	392	371
Strukturwandel-Szenario			436	400	343	286	232
Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O							
Entwicklung 1990 - 2005	131.476	116.157					
Mit-Maßnahmen-Szenario			114.459	108.584	102.111	94.972	87.012
Strukturwandel-Szenario			113.637	99.652	78.501	57.419	36.491
Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O				Veränderung ab 1990 in %			
Mit-Maßnahmen-Szenario			-12,9	-17,4	-22,3	-27,8	-33,8
Strukturwandel-Szenario			-13,6	-24,2	-40,3	-56,3	-72,2
Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O				Veränderung ab 2005 in %			
Mit-Maßnahmen-Szenario			-1,5	-6,5	-12,1	-18,2	-25,1
Strukturwandel-Szenario			-2,2	-14,2	-32,4	-50,6	-68,6

Quellen: UBA (2008 a+b), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI, IEF-STE und Öko-Institut.

### **3.2.3 Gewerbe, Handel, Dienstleistungen – Raumwärme und Warmwasser**

#### **3.2.3.1 Rahmendaten und Maßnahmen**

#### **3.2.3.2 Methodik**

Zwischen dem Wohngebäudebestand und dem Bestand der Nichtwohngebäude im GHD bestehen erhebliche Unterschiede. Da die Gebäude im gewerblichen Bereich sehr inhomogen sind, kann eine übersichtliche Typologie nicht so leicht hergeleitet werden. Die Datenbasis ist aufgrund der Dynamik dieses inhomogenen Sektors nicht so vollständig wie im Wohngebäudebereich.

Die Berechnung des Verbrauchs und der Emissionen im Bestand erfolgt hier grundsätzlich mit dem gleichen Ansatz wie im Bereich der Privaten Haushalte. Der Sektor wird hier allerdings nur pauschal behandelt. Es erfolgt eine Top-Down-Rechnung mit den im Bereich der Privaten Haushalte festgelegten Potenzialausnutzungen. Diese Analysen erfolgen ebenfalls mit dem IKARUS-Raumwärmemodell.

#### **3.2.3.3 Annahmen und Parameter**

Den Analysen liegen die Rahmenbedingungen und Leitparameter zugrunde, die auch für die Privaten Haushalte verwendet wurden, sofern sie für den Gewerbebereich zutreffen. Die Erneuerungszyklen sind jedoch kürzer als im Sektor Private Haushalte.

Es werden die gleichen Szenarien wie für die Privaten Haushalte gerechnet. Die Ausschöpfung der Sanierungspotenziale, die der Potenzialausnutzung entspricht, wird im Mit-Maßnahmen-Szenario mit 32 % in 2005 und einem Anstieg auf 37 % bis 2020 sowie 42 % bis 2030 äquivalent zum Sektor Private Haushalte berücksichtigt. Im Strukturwandel-Szenario wird unterstellt, dass insbesondere eine nochmalige Verschärfung der EnEV 2009 ab 2013 und ein verbesserter Vollzug der EnEV zu einem Anstieg der Potenzialausnutzung auf 65 % bis 2020 beitragen.

#### **3.2.3.4 Ergebnisse der Projektionen**

##### *3.2.3.4.1 Mit-Maßnahmen-Szenario*

Im Mit-Maßnahmen-Szenario können die Treibhausgasemissionen – einschließlich des durch die Prozesswärme verursachten Anteils (siehe Kapitel 3.2.4.1.1) – ausgehend von 2005 mit 54 Mio. t auf 43 Mio. t bis 2020 sowie bis 2030 auf 32 Mio. t verringert werden. Dies entspricht für die Gesamtheit der CO<sub>2</sub>-, CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen einer Minderungsrate in Bezug auf 1990 von rund 52 % (2020) bzw. 64 % (2030). Die starke Reduktion entsteht durch Kesselerneuerungen, Sanierungseffekte an der Gebäudehülle und durch den zunehmenden Einsatz von Solaranlagen und Biomassefeuerungen. Darüber hinaus wird ein erheblicher Anteil der Minderung durch den Abriss und den Neubau von Gebäuden verursacht.

3.2.3.4.2 Strukturwandel-Szenario

Durch die im Strukturwandel-Szenario unterstellten Maßnahmen können mit den pauschalisierten Berechnungen und einschließlich des durch die Prozesswärme verursachten Anteils (siehe Kapitel 3.2.4.1.1) die Emissionen gegenüber dem MMS bis 2020 (2030) um weitere knapp 12 Mio. t (bzw. 19 Mio. t) auf rund 31 Mio. t CO<sub>2</sub> (bzw. 12 Mio. t) reduziert werden. Durch dieses ambitionierte Szenario könnten die Emissionen für CO<sub>2</sub>-, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O im Vergleich zum Jahr 1990 bzw. 2005 bis zum Jahr 2020 um insgesamt knapp 65 % bzw. 43 % und bis zum Jahr 2030 um insgesamt rund 86 % bzw. 77 % vermindert werden.

Tabelle 3-46 Emissionseinsparungen bis 2030 im Vergleich der Szenarien

	1990	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	kt CO <sub>2</sub> -Äqu.						
CO <sub>2</sub> -Emissionen							
Entwicklung 1990 - 2005	86.665	54.014					
Mit-Maßnahmen-Szenario			50.716	46.946	42.572	37.591	31.794
Strukturwandel-Szenario			50.053	40.969	30.805	20.777	12.275
CH <sub>4</sub> -Emissionen							
Entwicklung 1990 - 2005	1.630	74					
Mit-Maßnahmen-Szenario			73	76	80	83	86
Strukturwandel-Szenario			78	96	107	121	129
N <sub>2</sub> O-Emissionen							
Entwicklung 1990 - 2005	249	157					
Mit-Maßnahmen-Szenario			142	133	122	109	94
Strukturwandel-Szenario			141	123	100	79	59
Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O							
Entwicklung 1990 - 2005	88.543	54.245					
Mit-Maßnahmen-Szenario			50.931	47.155	42.774	37.783	31.975
Strukturwandel-Szenario			50.273	41.188	31.013	20.976	12.462
Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O				Veränderung ab 1990 in %			
Mit-Maßnahmen-Szenario			-42,5	-46,7	-51,7	-57,3	-63,9
Strukturwandel-Szenario			-43,2	-53,5	-65,0	-76,3	-85,9
Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O				Veränderung ab 2005 in %			
Mit-Maßnahmen-Szenario			-6,1	-13,1	-21,1	-30,3	-41,1
Strukturwandel-Szenario			-7,3	-24,1	-42,8	-61,3	-77,0

Anmerkungen: ohne bauwirtschaftlichen Verkehr

Quellen: UBA (2008 a+b), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI, IEF-STE und Öko-Institut.

### 3.2.4 Private Haushalte – Strom

#### 3.2.4.1 Rahmendaten und Maßnahmen

##### 3.2.4.1.1 Rahmendaten

Die wesentlichen Rahmendaten, die den Strombedarf der privaten Haushalte bestimmen, sind die Entwicklung der Bevölkerung und der privaten Haushalte. Die diesbezüglichen Annahmen wurden bereits in Abschnitt 2.1.1 umfassend dargestellt.

##### 3.2.4.1.2 Mit-Maßnahmen-Szenario

Neben dem Bereich Raumwärme und Warmwasser stellen die elektrischen und elektronischen Geräte den zweiten wesentlichen Energieverbrauchsbereich im Haushaltssektor dar. Anders als bei der Raumwärme geht in diesem Bereich ein großer Teil der bereits implementierten Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz und CO<sub>2</sub>-Minderung von der EU aus. Dies gilt vor allem für die beiden Maßnahmen, die bisher als wesentliche Treiber für die Erhöhung der Energieeffizienz großer elektrischer Haushaltsgeräte anzusehen sind, nämlich die:

**Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung (EnVKV) und die Energieverbrauchshöchstwertverordnung (EnVHV).**

Beide Verordnungen wurden bereits Ende der 90er Jahre in Deutschland implementiert, d. h. vor dem hier definierten Basiszeitraum für das Mit-Maßnahmen-Szenario (2000 bis Ende 2007). Allerdings sind in diesem Zeitraum sowohl Verschärfungen der Kennzeichnung vorgenommen als auch weitere Gerätegruppen in die Kennzeichnungspflicht einbezogen worden<sup>12</sup>, so dass eine Berücksichtigung dieser Maßnahmen im Mit-Maßnahmen-Szenario erforderlich ist.

**Freiwillige Produktkennzeichnungen sowie freiwillige Selbstverpflichtungen**

Diese – überwiegend von der EU-Ebene ausgehenden – Regelungen sind derzeit insbesondere für Geräte aus der Unterhaltungselektronik sowie Bürogeräte von Bedeutung:

- Freiwilliger Kennzeichnungen wie Energy Star, GEEA-Label, Blauer Engel, EU-Umweltkennzeichen, Energy+.
- Vereinbarung (negotiated agreement) zwischen EU-Kommission und EA-CEM über Standby-Verluste von Audio-Geräten aus dem Jahr 2000.
- Code of Conduct über die Energieeffizienz externer Netzteile (external power supplies) aus dem Jahr 2000.
- Code of Conduct über die Energieeffizienz digitaler TV-Systeme (Version 2) aus dem Jahr 2003.

---

<sup>12</sup> Von der EnVKV sind derzeit folgende Gerätegruppen erfasst: Haushaltskühl- und Gefriergeräte, Waschmaschinen, Wäschetrockner, Geschirrspüler, bestimmte Haushaltslampen und Haushaltsleuchtstofflampen, elektrische Backöfen und Raumklimageräte.

- Selbstverpflichtung der Industrie zur Verbesserung der Energieeffizienz von Geräten der Unterhaltungselektronik (Industry Self-Commitment to Improve the Energy performance of Household Consumer Electronic Products sold in the EU) aus dem Jahr 2003.

Deren Einfluss auf den Stromverbrauch von Haushaltsgeräten lässt sich allerdings nur schwer quantifizieren, da eine Separierung der Maßnahmenwirkung vom allgemeinen energietechnischen Fortschritt kaum möglich ist. Diese Maßnahmen sind daher als "weiche" Maßnahmen zu charakterisieren. Dies gilt ebenfalls für die verschiedenen **Informations- und Beratungsprogramme und -kampagnen zur Energieeffizienz** von elektrischen Geräten und zur Verminderung von Stand-by-Verlusten, die von unterschiedlichen Institutionen durchgeführt werden (Energieagenturen, Verbraucherzentralen, Stadtwerke etc.), darunter u. a. die im Oktober 2003 gestartete "Initiative EnergieEffizienz" der Deutschen Energie-Agentur (dena) in Kooperation mit Unternehmen aus der Energiewirtschaft.

#### 3.2.4.1.3 Strukturwandel-Szenario

Im Strukturwandel-Szenario werden folgende Maßnahmen berücksichtigt, die teils von EU-Ebene und teils von der nationalen Ebene ausgehen:

**Mindesteffizienzstandards:** EU-weite Einführung verbindlicher und anspruchsvoller Mindesteffizienzstandards für energiebetriebene Produkte und ihre regelmäßige Dynamisierung (EU-Top-Runner), die auf der Grundlage der EU-Ökodesign-Richtlinie (Richtlinie 2005/32/EG) erfolgt.

**Verbesserung der bestehenden Energieverbrauchskennzeichnung:** Verbesserung und Aktualisierung der bestehenden EU-weiten verbindlichen Energieverbrauchskennzeichnung und ihre Ausweitung auf weitere Geräte, basierend auf der derzeit im Entscheidungsverfahren befindlichen Revision der Energieverbrauchskennzeichnungsrichtlinie der EU (Richtlinie 1992/75/EG).

**Freiwillige Vereinbarung über eine konsumentenfreundliche Kennzeichnung elektrischer Geräte** (Bestgerätekennzeichnung, Stromverbrauchsangaben), wie sie in den Eckpunkten für ein integriertes Energie- und Klimaprogramm der Bundesregierung (IEKP-Maßnahme 8) vorgeschlagen wird.

**Verstärkung von Informationskampagnen** zur Erhöhung der Energieeffizienz von elektrischen Geräten (wie der "Initiative Energieeffizienz" der dena).

**Einführung intelligenter Zähler zur Stromverbrauchsmessung**, die auch im Haushaltsbereich zu einer Reduzierung des Stromverbrauchs beitragen könnten.

**Finanzielle Förderung hocheffizienter (marktbester) elektrischer Geräte:** Ein solches Markteinführungsprogramm für hocheffiziente Elektrogeräte, das auch im nationalen Energieeffizienz-Aktionsplan (NEEAP) der Bundesrepublik Deutschland gemäß der EU-Richtlinie über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen (Richtlinie 2006/32/EG) vorgeschlagen wird, soll hier jedoch unter dem übergeord-

neten Dach eines Energieeffizienzfonds behandelt werden, in dessen Rahmen neben hocheffizienten Haushaltsgeräten insbesondere auch Effizienztechniken im GHD- und Industriesektor gefördert werden könnten (siehe Abschnitt 3.2.5.1). Ziel eines solchen Programms ist es, den vorgezogenen Austausch ineffizienter Haushaltsgeräte durch hocheffiziente Geräte zu unterstützen und bisher noch nicht wirtschaftliche Geräte schneller in den Markt bringen. Bei der Konzeption des Programms ist dabei sicherzustellen, dass die ersetzten Altgeräte nicht weiterverwendet werden (Nachweispflicht) und dass Mitnahmeeffekte und Fehlallokationen weitgehend vermieden werden.

### 3.2.4.2 Methodik

Für die Ermittlung des derzeitigen und zukünftigen Strombedarfs von elektrischen Haushalts- und Bürogeräten in den beiden Szenarien wird ein Berechnungsmodell verwendet, das folgende Komponenten enthält:

- **Gerätebestand** zum heutigen Zeitpunkt sowie erwartete Bestandsentwicklung unter Einschluss neu auf den Markt kommender Geräte bzw. veränderter Nutzungen. Der zukünftige Gerätebestand wird dabei über die erwartete Entwicklung von **Ausstattungsdaten** der Haushalte – unter Berücksichtigung von Mehrfachausstattungen – geschätzt, die mit der in den demographischen Rahmendaten angenommenen Entwicklung der **Zahl der Haushalte** (Abschnitt 2.1.1) verknüpft wird.
- **Spezifischer Strombedarf der Geräte**, wobei für die Geräte aus dem Bereich IKT neben dem Stromverbrauch im Normalbetrieb (Active mode) der Energieverbrauch im Standby<sup>13</sup> unterschieden wird. Der spezifische Stromverbrauch der Geräte wird durch folgende Parameter bestimmt:
  - die jeweilige **Nutzungsintensität** der Geräte, ggf. unterschieden nach Betriebszuständen;
  - die **Leistungsaufnahme** der Geräte; die zukünftige Leistungsaufnahme wird dabei durch die Existenz von technischen und verhaltensbedingten Einsparpotenzialen und deren tatsächliche Umsetzung beeinflusst. Dabei wird hier im Mit-Maßnahmen-Szenario davon ausgegangen, dass auch die vorhandenen wirtschaftlichen Einsparpotenziale nicht vollständig ausgeschöpft werden, während im Strukturwandel-Szenario, in Abhängigkeit von den hier unterstellten Maßnahmen, von einer deutlich stärkeren Ausschöpfung vorhandener wirtschaftlicher und teilweise auch technischer Einsparpotenziale ausgegangen wird.
- Der **gesamte Strombedarf** für elektrische Geräte in privaten Haushalten in den beiden Szenarien errechnet sich dann aus der angenommenen Entwicklung dieser Komponenten.

Im Berechnungsmodell wird der gesamte Strombedarf privater Haushalte analytisch in fünf Teilmodule getrennt:

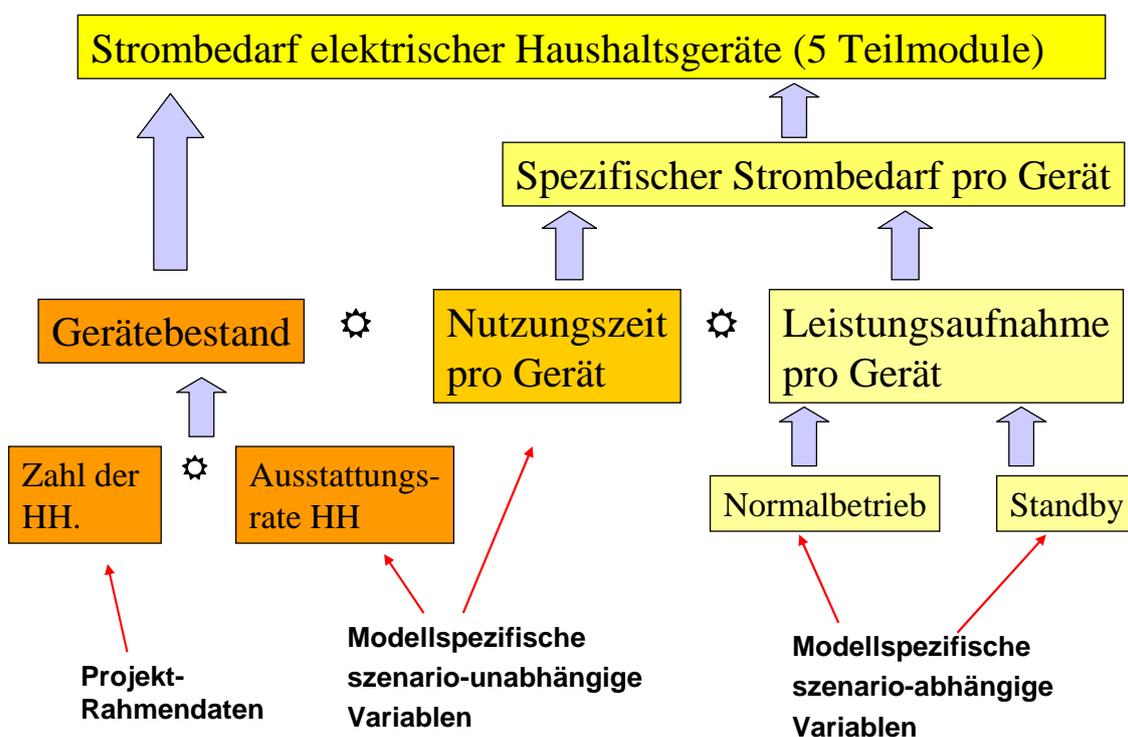
---

<sup>13</sup> darunter Netzwerk-Standby, passives Standby, Schein-Aus-Verluste.

- Modul 1: Große elektrische Haushaltsgeräte (Kühlgeräte, Gefriergeräte, Waschmaschinen, Trockner, Elektroherd)
- Modul 2: IKT-Endgeräte (Television und Computer, jeweils inkl. Peripheriegeräte, mobile Geräte, Audio-Geräte, Telefon und Router)
- Modul 3: Beleuchtung
- Modul 4: Klimageräte
- Modul 5: Elektrische Kleingeräte (Dunstabzugshaube, Mikrowelle, Kaffeemaschine, Bügeleisen, Staubsauger, Fön) und sonstige elektrische Anwendungen

Abbildung 3-8 zeigt das verwendete Berechnungsmodell für den Strombedarf privater Haushalte. Variiert wird in den einzelnen Szenarien dabei nur die Leistungsaufnahme der Geräte, die übrigen Parameter bleiben gleich.

Abbildung 3-8 Berechnungsmodell für den Strombedarf elektrischer Haushaltsgeräte



Quelle: Fraunhofer ISI.

Nicht Bestandteil dieses Berechnungsmodell ist der Stromverbrauch für Raumwärme und Warmwasser, da dieser bereits im Gebäudemodell (Abschnitt 3.2.2) enthalten ist. Um den Stromverbrauch der privaten Haushalte jedoch vollständig abzubilden, werden die Ergebnisse aus dem Gebäudemodell hier nachrichtlich mit aufgenommen. Die hinter dieser Entwicklung stehenden Maßnahmen werden in Abschnitt 3.2.2 beschrieben.

### 3.2.4.3 Annahmen und Parameter

Die erwartete Entwicklung des Bestands an elektrischen Geräten in privaten Haushalten zeigt Tabelle 3-47. Danach wird sowohl für die meisten großen elektrischen Haushaltsgeräte als auch für die elektrischen Kleingeräte mit nur noch geringfügig steigenden oder konstanten Ausstattungsraten gerechnet. Der moderate Bestandszuwachs ist daher überwiegend auf den angenommenen Anstieg der Zahl der Haushalte von 39,2 Mill. in 2005 auf rund 41,7 Mill. bis 2030 zurückzuführen. Lediglich bei den Wäschetrocknern wird von einer weiteren Erhöhung der Haushaltsausstattung von heute rund 40 % auf 56 % in 2030 ausgegangen. Insgesamt wird dieser Teil des Stromverbrauchs in den kommenden Jahren überwiegend durch Ersatzbeschaffungen bestimmt.

Für IKT-Geräte wird hingegen für die meisten Gerätegruppen mit weiter steigenden Ausstattungsraten der Haushalte gerechnet. Dies gilt insbesondere für Computer, Set-top-Boxen, Mobiltelefone und Router, wo noch deutliche Bestandszuwächse zu erwarten sind. Bei den dieses Verbrauchssegment insgesamt dominierenden Fernsehern dürfte sich zwar die heute schon hohe Ausstattungsrate von knapp 1,5 TV-Geräten pro Haushalt in Deutschland<sup>14</sup> nur noch geringfügig erhöhen. Entscheidend für den zukünftigen Stromverbrauch sind hier jedoch die durchschnittliche Bildschirmgröße und die Nutzungszeit. Für beide Faktoren wird vor allem bis 2020 von einem weiteren Wachstum ausgegangen.

Das Modul Beleuchtung wird im Berechnungsmodell über die Zahl der Haushalte abgebildet. Schwierig zu bestimmen ist aufgrund der unzureichenden Datenlage der heutigen und zukünftige Bestand an Klimageräten in privaten Haushalten<sup>15</sup>. Für die Bestandsabschätzung und die Bestimmung des spezifischen Verbrauchs wird hier auf die Ergebnisse der aktuellen EuP-Vorstudie Lot 10 (2008) zu Raumklimageräten in privaten Haushalten zurückgegriffen. Diese geht für Deutschland zwar bis 2020 von einer Verdoppelung des Bestands aus, allerdings auf sehr niedrigem Niveau (Tabelle 3-47).

Die angenommene Entwicklung des spezifischen Stromverbrauchs der elektrischen Haushaltsgeräte zwischen dem Basisjahr 2005 und 2030 zeigt Tabelle 3-48. Die hinter dieser Entwicklung stehenden Annahmen zur Leistungsaufnahme und zur Nutzungsintensität der Geräte wurden überwiegend aus den Vorstudien zur Umsetzung der Ökodesign-Richtlinie der EU (Richtlinie 2005/32/EG) entnommen, die Annahmen bis zum Jahr 2020 enthält, die bis 2030 fortgeschrieben wurden. Dabei wurden für das Maßnahmen-Szenario die Annahmen des "Base Case" und für das Strukturwandel-Szenario die des "BAT Case" zu Grunde gelegt. Weitere Datenquellen waren die Referenzprognose von EWI/Prognos (2006) sowie Studien mit Beteiligung des Fraunhofer ISI zum Stromverbrauch elektrischer Haushaltsgeräte (Schloman et al. 2005; Fraunhofer ISI et al. 2009; Fraunhofer IZM/Fraunhofer ISI 2009).

---

<sup>14</sup> Abschätzung Fraunhofer ISI basierend auf Arbeitsgemeinschaft Media-Analyse e.V (2007).

<sup>15</sup> Der Bereich der Klimatisierung wird hier analytisch nicht im Gebäudemodell erfasst, das nur die Bereiche Raumwärme und Warmwasser abbildet, sondern im Strommodell.

Tabelle 3-47 Entwicklung des Bestands an elektrischen Geräten in privaten Haushalten zwischen 2005 und 2030

	2005	2010	2020	2030
	1.000 Stück			
<b>M1: Große elektrische HH-Geräte</b>				
Kühlgeräte	39.900	40.509	42.009	42.535
Gefriergeräte	21.400	22.862	25.947	29.191
Waschmaschinen	37.300	38.905	39.949	40.450
Spülmaschinen	23.900	27.273	31.301	33.778
Trockner	15.100	19.252	23.064	23.353
Elektroherd	32.900	34.493	35.419	35.863
<b>M2: IKT-Endgeräte</b>				
Computer Desktop	26.249	28.878	32.948	31.276
Home Server	1.567	3.610	8.237	12.510
Monitor LCD	10.970	26.070	35.007	36.280
Monitor CRT	15.992	4.011	0	0
Computer Notebook	7.130	12.033	20.592	25.021
IJ-Drucker/MFD	14.496	16.846	20.592	22.936
EP-Drucker/MFD	5.485	10.027	13.591	16.680
Flatbed Scanner	12.929	14.439	12.355	8.340
<b>Computer Summe</b>	<b>94.819</b>	<b>115.913</b>	<b>143.322</b>	<b>153.043</b>
Mobiltelefon	79.200	114.855	142.324	144.285
PDA	3.134	802	0	0
Gameports	6.268	6.333	6.503	6.672
Digitalkamera	15.671	32.087	39.125	39.616
Camcorder	5.877	10.027	16.474	20.016
<b>Mobile Geräte Summe</b>	<b>110.151</b>	<b>164.104</b>	<b>204.426</b>	<b>210.590</b>
Fernseher	56.808	60.564	63.013	63.803
Set-top-Boxen	26.716	36.338	63.012	63.803
VHS Player/Recorder	27.033	10.027	0	0
DVD/HDD Player/Recorder	17.630	30.081	41.185	41.701
Game-Konsolen	10.970	11.230	11.532	11.676
<b>Television Summe</b>	<b>222.681</b>	<b>245.142</b>	<b>304.766</b>	<b>308.587</b>
Radio/CD/Tape-Recorder	39.962	41.442	42.554	43.087
Hifi-Anlagen	24.682	25.371	26.052	26.379
<b>Audio Summe</b>	<b>64.644</b>	<b>66.814</b>	<b>68.607</b>	<b>69.466</b>
Telefon: Schnurlos (DECT)	36.436	37.702	37.066	37.531
Fax	7.052	4.813	3.295	3.336
Router	16.400	23.263	30.888	35.446
<b>Telefon Summe</b>	<b>59.888</b>	<b>65.778</b>	<b>71.249</b>	<b>76.313</b>
<b>M3: Beleuchtung (HH)</b>	<b>39.178</b>	<b>40.108</b>	<b>41.185</b>	<b>41.701</b>
<b>M4: Klimageräte</b>	<b>444</b>	<b>624</b>	<b>913</b>	<b>946</b>
<b>M5: Elektrische Kleingeräte</b>				
Dunstabzugshaube	26.100	27.675	28.830	29.191
Mikrowelle	27.400	28.076	30.477	32.527
Toaster	34.600	35.295	37.067	37.531
Kaffeemaschine	37.400	38.103	39.949	41.284
Bügeleisen	38.600	39.306	40.361	40.867
Staubsauger	38.100	38.905	39.949	40.450
Fön	31.500	32.487	34.184	35.446

Quellen: StBA (2007d), GfK/ZVEI (2006), BITKOM (2008), EuP Prep. Study Lot 10; Fraunhofer IZM/Fraunhofer ISI (2009), Schätzung Fraunhofer ISI.

Tabelle 3-48 Entwicklung des spezifischen Verbrauchs elektrischer Geräte in privaten Haushalten 2005-2030

	2005	2010	2020	2030
	kWh/Gerät	MMS: Veränderung gegenüber 2005 in %		
<b>M1: Große elektrische HH-Geräte</b>				
Kühlgeräte	294,0	-7,1	-21,8	-31,0
Gefriergeräte	276,0	-11,2	-19,2	-22,5
Waschmaschinen	158,0	-5,8	-10,0	-14,0
Spülmaschinen	240,0	-5,8	-10,0	-14,0
Trockner	265,0	-4,7	-13,6	-23,6
Elektroherd	380,0	-4,0	-8,0	-11,0
<b>M2: IKT-Endgeräte</b>				
Computer inkl. Peripheriegeräte	101,4	0,0	12,2	8,9
Mobile Geräte	3,5	2,1	2,8	3,2
Fernseher	170,6	23,3	26,6	25,0
Set-top-Boxen	54,2	17,8	5,4	-7,8
Video/DVD	49,1	-7,2	-32,1	-35,8
Audio-Geräte	48,6	-0,2	-36,7	-43,3
Telefon/Fax	26,5	0,0	0,0	0,0
Router	35,0	0,0	-25,0	-54,3
<b>M3: Beleuchtung (pro HH)</b>	300,0	-4,0	-12,0	-19,8
<b>M4: Klimageräte</b>	386,5	-4,5	-18,7	-37,4
<b>M5: Elektrische Kleingeräte</b>	33,8	0,6	1,7	2,8
	kWh/Gerät	SWS: Veränderung gegenüber 2005 in %		
<b>M1: Große elektrische HH-Geräte</b>				
Kühlgeräte	294,0	-15,0	-45,9	-52,0
Gefriergeräte	276,0	-9,4	-31,2	-35,9
Waschmaschinen	158,0	-5,1	-18,0	-26,0
Spülmaschinen	240,0	-4,2	-16,0	-22,0
Trockner	265,0	-3,8	-15,1	-43,0
Elektroherd	380,0	-2,6	-12,0	-20,0
<b>M2: IKT-Endgeräte</b>				
Computer inkl. Peripheriegeräte	101,4	-4,2	-17,4	-33,6
Mobile Geräte	3,5	2,1	-17,9	-27,9
Fernseher	170,6	17,5	2,2	-18,6
Set-top-Boxen	54,2	1,5	-20,9	-29,9
Video/DVD	49,1	-7,1	-32,1	-43,3
Audio-Geräte	48,6	-13,3	-48,3	-57,4
Telefon/Fax	26,3	0,0	0,0	0,0
Router	35,0	0,0	-25,0	-54,3
<b>M3: Beleuchtung (pro HH)</b>	300,0	-5,0	-30,0	-50,0
<b>M4: Klimageräte</b>	386,5	1,1	-1,2	-7,7
<b>M5: Elektrische Kleingeräte</b>	33,8	-2,3	-7,7	-13,2

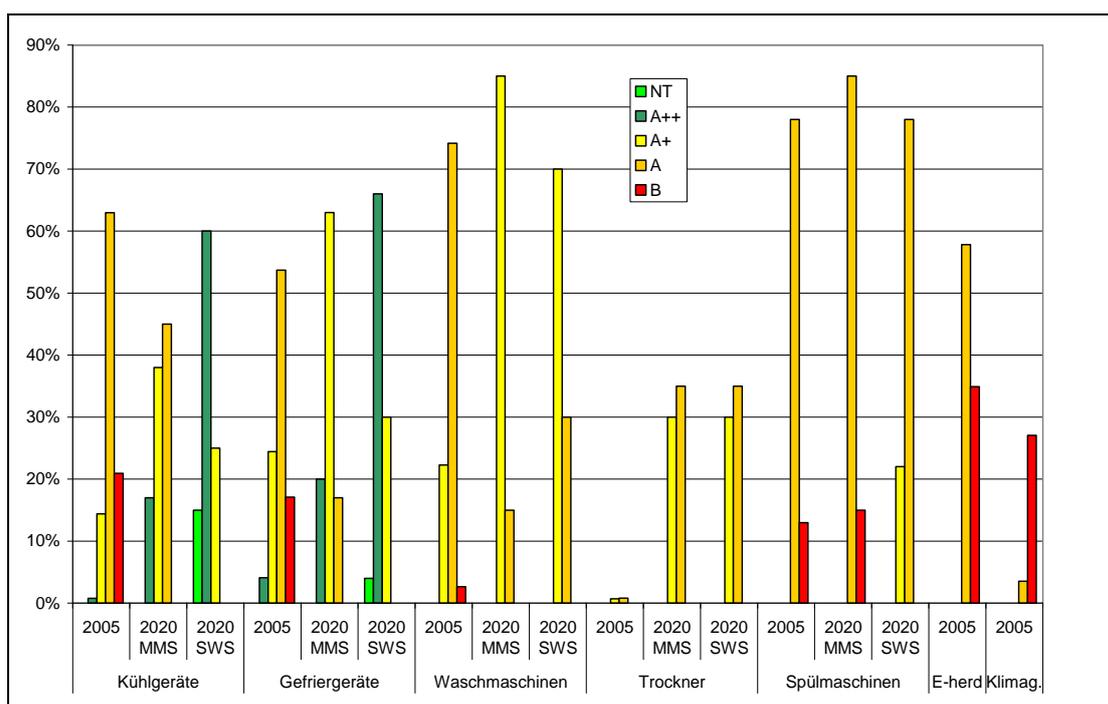
Quellen: Schätzungen Fraunhofer ISI basierend auf EuP Prep. Studies (Lot 3 - 7, 10, 13, 14, 19), Schlomann et al. (2005), EWI/Prognos (2006), Fraunhofer ISI et al. (2009); Fraunhofer IZM/Fraunhofer ISI (2009).

Der zukünftige spezifische Stromverbrauch der großen elektrischen Haushaltsgeräte wird dabei weitgehend von der erwarteten Entwicklung der Verteilung der Energieeffizienzklassen der Geräte bestimmt. Die hier angenommenen Anteile der Effizienzklassen an den Geräteverkäufen zeigt Abbildung 3-9. Für Kühl- und Gefriergeräte wird nach den hier getroffenen Annahmen im Strukturwandel-Szenario zusätzlich zu der schon existierenden A++-Technologie eine "neue Technologie" (NT) in den Markt eindringen, deren Leistungsaufnahme rund 10 % unter der der A++-Geräte liegt. Damit

lassen sich für diese Gerätegruppen weitere deutliche spezifische Einsparungen erschließen, während die bestehenden Einsparpotenziale für die wasserführenden Gerätegruppen deutlich geringer ausfallen.

Bei den IKT-Geräten wird insbesondere bei Computern, Monitoren und Fernsehern im Mit-Maßnahmen-Szenario noch mit einem Anstieg des spezifischen Verbrauchs gerechnet. Die hier bestehenden Effizienzpotenziale, die zu einer Verringerung der Leistungsaufnahme im Normalbetrieb und insbesondere im Standby-Modus führen, werden hier durch steigende Nutzungszeiten, größere Bildschirme und eine erhöhte Leistungsfähigkeit der Computer überkompensiert. Im Strukturwandel-Szenario überwiegt dann der Effizienzeffekt, wobei hier mit gleichen Nutzungszeiten und Bildschirmgrößen wie im MMS gerechnet wird. Es wird jedoch von einer - maßnahmenbedingt - erheblich größeren Ausschöpfung der hier bestehenden wirtschaftlichen Einsparpotenziale ausgegangen.

Abbildung 3-9 Anteile der Effizienzklassen\* an den Geräteverkäufen großer elektrischer Haushaltsgeräte 2005 und 2020



\* Die Effizienzklassen A+ und A++ gibt es offiziell nur für Kühl- und Gefriergeräte, für die übrigen Geräte handelt es sich um eine hypothetische Einteilung. Im Rahmen der Revision der Energieverbrauchskennzeichnungsrichtlinie der EU wird auch die Klasseneinteilung verändert werden.

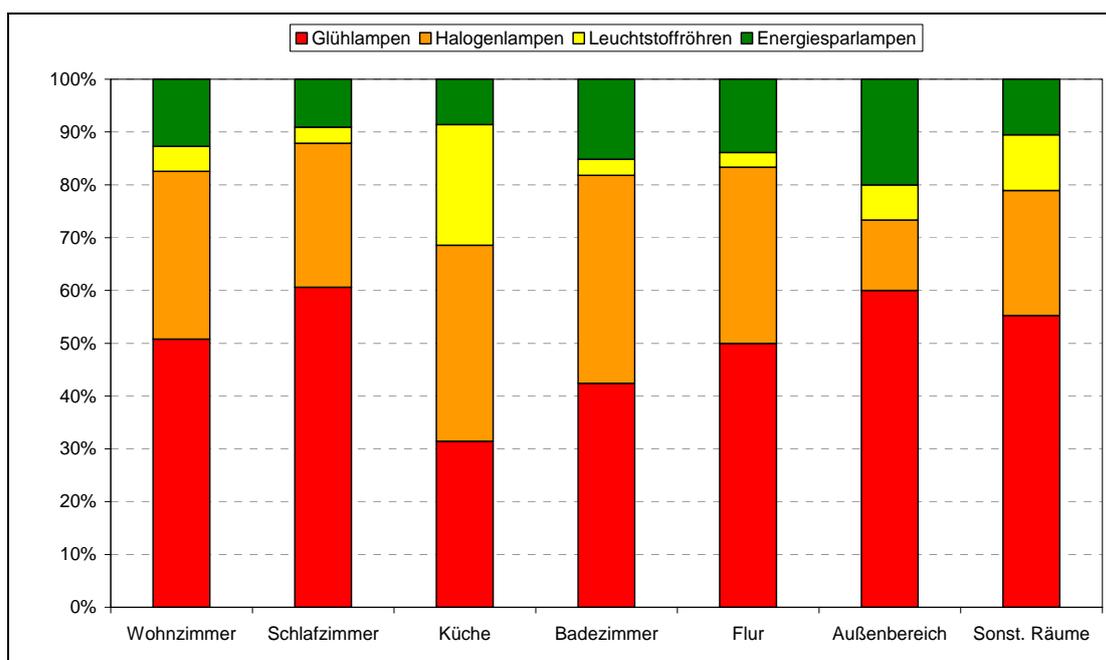
Quellen: GfK (2008), Fraunhofer ISI et al. (2009).

Im Bereich der Beleuchtung bestehen noch große Einsparpotenziale durch Ersatz der herkömmlichen Glüh- und Halogenlampen durch Energiesparlampen und in Zukunft auch den stärkeren Einsatz der LED-Technologie. Nach einer aktuellen Umfrage von

Fraunhofer ISI/GfK (2007) in 500 repräsentativen deutschen Haushalten ist der Anteil der Energiesparlampen an der Raumbeleuchtung noch relativ gering (Abbildung 3-10). Im Schnitt hat danach jeder Haushalt 25 Lampen, davon sind lediglich 3,1 Lampen Energiesparlampen. Im Mit-Maßnahmen-Szenario wird dabei noch von einer moderaten Erhöhung des Anteils der Energiesparlampen ausgegangen, die zu einer Verringerung des spezifischen Stromverbrauchs für Beleuchtung pro Haushalt von rund 20 % bis 2030 führt (Tabelle 3-48). Im Strukturwandel-Szenario ist durch den erheblich stärkeren Ersatz der herkömmlichen Beleuchtung durch Energiesparttechnologien die erzielte Einsparung mit 50 % deutlich größer.

Die erwarteten spezifischen Verbrauchsreduktionen im Bereich der Klimageräte basieren auf den Annahmen der EuP-Vorstudie Lot 10 (2008). Für die elektrischen Kleingeräte wird im Mit-Maßnahmen-Szenario mit einer Konstanz des spezifischen Verbrauchswertes auf dem derzeitigen Niveau und im Strukturwandel-Szenario mit moderaten Einsparungen gerechnet.

Abbildung 3-10 Einsatz verschiedener Beleuchtungstechnologien in privaten Haushalten in Deutschland 2006

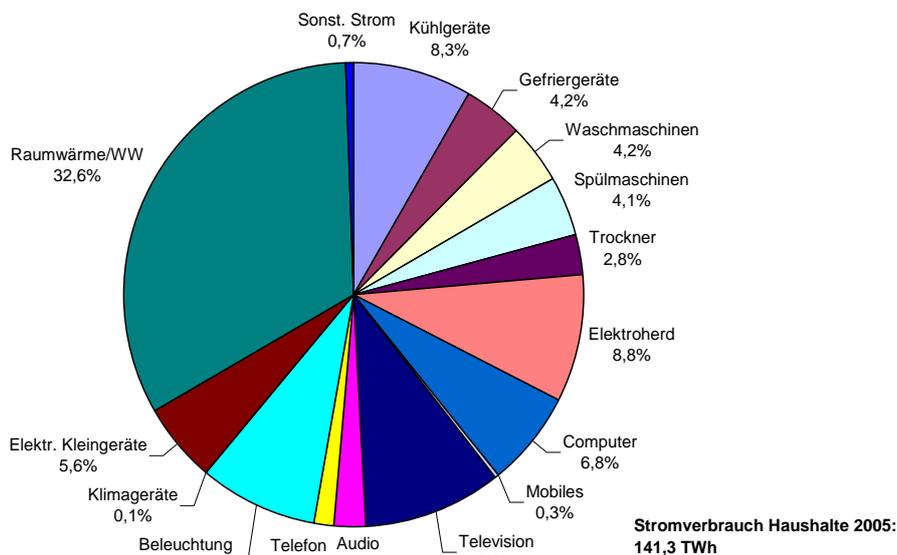


Quelle: Fraunhofer ISI/GfK (2007).

Für das Basisjahr 2005 ergibt sich auf Grundlage dieser Annahmen die in Abbildung 3-11 dargestellte Struktur des Stromverbrauchs privater Haushalte. Dabei lag der gesamte Verbrauch nach den Angaben der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (2008) bei rund 141,3 TWh. Dieser Wert umfasst auch den Bereich Raumwärme und Warmwasser (siehe zur Berechnung Abschnitt 3.2.2), auf den knapp ein Drittel des gesamten derzeitigen Stromverbrauchs privater Haushalte entfällt. Ein weiteres Drittel entfällt auf die großen elektrischen Haushaltsgeräte und rund 17 % auf die Gerätegruppen Television und Computer (jeweils inkl. Peripheriegeräte). Für die IKT-Endgeräte wurde

der Stromverbrauch auch getrennt nach den verschiedenen Betriebszuständen berechnet<sup>16</sup>. Im Basisjahr 2005 entfielen vom gesamten Stromverbrauch für IKT-Endgeräte von rund 29 TWh knapp 9 TWh, d.h. etwa 30 % auf den Standby-Modus.

Abbildung 3-11 *Stromverbrauch privater Haushalte im Jahr 2005 nach Gerätegruppen und Anwendungen*



Quelle: AGEB (2008), Berechnungen Fraunhofer ISI und IEF-STE.

Die erwartete Entwicklung des Stromverbrauchs der privaten Haushalte bis 2030 in den beiden Szenarien und der Einfluss der untersuchten Maßnahmen auf diese Entwicklung wird im folgenden Abschnitt dargestellt.

### 3.2.4.4 Ergebnisse der Projektionen

Einen Überblick über die Entwicklung des Stromverbrauchs privater Haushalte in den hier berechneten Szenarien gibt Tabelle 3-49. Detailliert berechnet wurden dabei nur das Mit-Maßnahmen-Szenario und das Strukturwandel-Szenario. Das Ohne-Maßnahmen-Szenario beinhaltet lediglich eine Entwicklung ohne die Wirkung der im Mit-Maßnahmen-Szenario abgeschätzten Maßnahmen.

<sup>16</sup> Für die übrigen Gerätegruppen, bei denen die Standby-Verluste von geringer Bedeutung sind, ist der Stromverbrauch im Standby-Modus in den gesamten Verbrauchswerten enthalten.

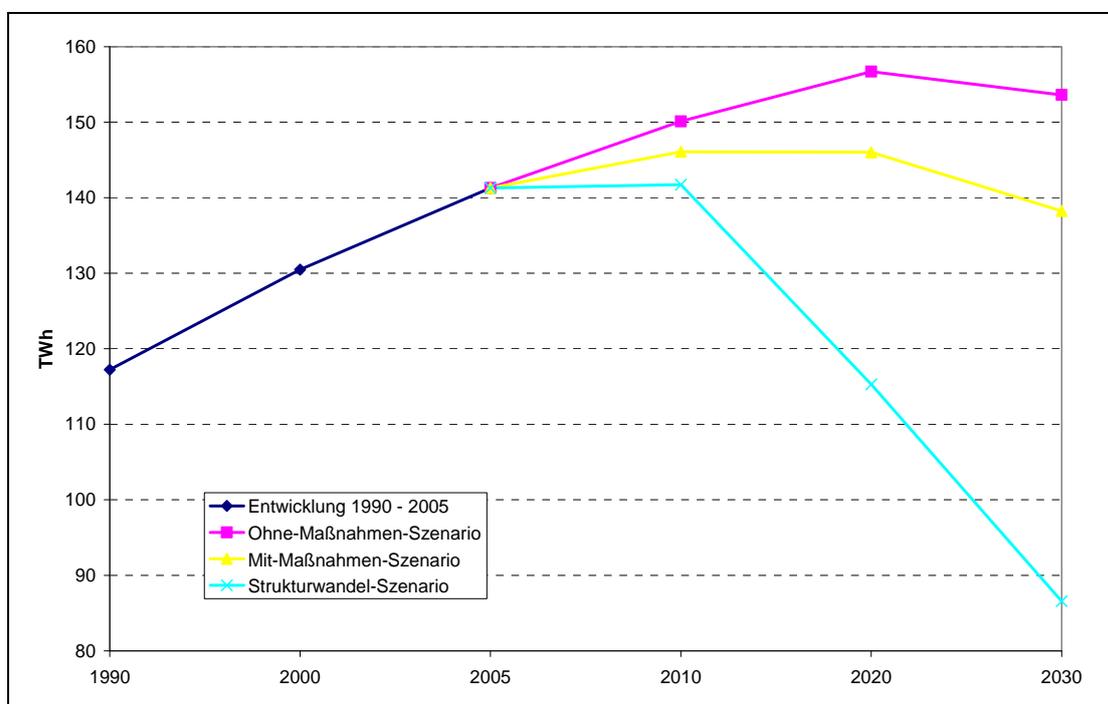
Tabelle 3-49 Entwicklung des Stromverbrauchs privater Haushalte 1990 – 2030 nach Szenarien

	1990	2000	2005	2010	2020	2030
	TWh					
Entwicklung 1990 - 2005	117	131	141			
Ohne-Maßnahmen-Szenario			141	150	157	154
Mit-Maßnahmen-Szenario			141	146	146	138
Strukturwandel-Szenario			141	142	115	87
	Veränderung gegenüber 1990 in %					
Mit-Maßnahmen-Szenario				24,6	24,6	17,9
Strukturwandel-Szenario				20,9	-1,6	-26,2
	Veränderung gegenüber 2005 in %					
Mit-Maßnahmen-Szenario				3,4	3,4	-2,2
Strukturwandel-Szenario				0,3	-18,4	-38,7

Quellen: AGE B (2008), Berechnungen Fraunhofer ISI und IEF-STE.

Im Ohne-Maßnahmen-Szenario setzt sich demnach der in der Vergangenheit beobachtete Verbrauchsanstieg in abgeschwächter Form bis 2020 fort, um danach leicht zurück zu gehen (Abbildung 3-12). Im Mit-Maßnahmen-Szenario wird bis 2020 eine Stabilisierung des Stromverbrauchs privater Haushalte etwas über dem Niveau von 2005 erreicht und in den Folgejahren ein moderater Rückgang. Im Strukturwandel-Szenario wird bereits ab 2010 mit einem sinkenden Stromverbrauch gerechnet. Gegenüber 2005 liegt der erwartete Rückgang bis 2020 bei etwa 18 %, bis 2030 bei knapp 40 %.

Abbildung 3-12 Entwicklung des Stromverbrauchs privater Haushalte nach Szenarien, 1990–2030



Quellen: AGE B (2008), Berechnungen Fraunhofer ISI und IEF-STE.

Den Beitrag der verschiedenen Anwendungsbereiche zu dieser Entwicklung zeigt Tabelle 3-50. Der stärkste Verbrauchsrückgang wird bei der Beleuchtung, im Bereich

Raumwärme/Warmwasser und dem Standby-Verbrauch von IKT-Geräten erwartet, während der Stromverbrauch für die IKT-Geräte insgesamt auch im Strukturwandel-Szenario zumindest bis etwa 2015 noch zunimmt. In den Folgejahren wird mit einem eher moderaten Rückgang gerechnet.

*Tabelle 3-50 Entwicklung des Stromverbrauchs privater Haushalte 2005 - 2030 nach Szenarien und Anwendungsbereichen*

	2005	2010	2020	2030
	Stromverbrauch in TWh			
<b>Ohne-Maßnahmen-Szenario</b>	<b>141,3</b>	<b>150,1</b>	<b>156,7</b>	<b>153,6</b>
<b>Mit-Maßnahmen-Szenario</b>	<b>141,3</b>	<b>146,1</b>	<b>146,0</b>	<b>138,3</b>
Große elektrische Haushaltsgeräte	45,8	46,1	45,6	44,2
IKT-Endgeräte	28,7	34,9	40,0	39,5
<i>darunter Standby</i>	8,7	9,0	6,2	6,0
Beleuchtung	11,8	11,6	10,9	10,0
Raumwärme/Warmwasser	46,0	44,3	39,8	34,4
Sonstige Stromwendungen	9,0	9,3	9,8	10,1
<b>Strukturwandel-Szenario</b>	<b>141,3</b>	<b>141,7</b>	<b>115,3</b>	<b>86,6</b>
Große elektrische Haushaltsgeräte	45,8	45,6	40,1	36,6
IKT-Endgeräte	28,7	33,1	31,6	26,7
<i>darunter Standby</i>	8,7	8,1	4,8	4,2
Beleuchtung	11,8	11,4	8,6	6,3
Raumwärme/Warmwasser	46,0	42,5	25,8	8,2
Sonstige Stromwendungen	9,0	9,1	9,1	8,8

Quellen: AGEB (2008), Berechnungen Fraunhofer ISI und IEF-STE.

Für die Entwicklung des Stromverbrauchs im Mit-Maßnahmen-Szenario wurde dabei als relevante Maßnahme nur die Wirkung der Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung sowie für Kühlgeräte zusätzlich die Energieverbrauchshöchstwertverordnung abgeschätzt (Tabelle 3-51). Dabei wird wie bereits in den Politikszenerarien IV (Öko-Institut et al. 2007) angenommen, dass bei Fortbestehen der EnVKV und der EnVHV in ihrer derzeitigen Form durch eine weitere Erhöhung der Anteile von A-Geräten (und zunehmend A+ und A++-Geräten) Einsparungen in ähnlicher Größenordnung wie im Zeitraum 2000-2004 erzielt werden können. Die für diesen Zeitraum zu Grunde gelegten Einsparungen lagen bei rund 2,2 TWh.

Tabelle 3-51 Wirkung der strombezogenen Maßnahmen im Sektor private Haushalte - Mit-Maßnahmen-Szenario

Maßnahme	Typ	Beschreibung/Ziele (Wirkungsbereich)	Umsetzungs- stand (Wirkungs- beginn)	Effekt für Stromaufkommen		
				2010	2020	2030
				TWh		
Energieverbrauchskenn- zeichnungsverordnung (EnVKV) / Energieverbrauchshöchstwertever- ordnung (EnVHV)	R	Verpflichtende Kennzeichnung des Energieverbrauchs und anderer Ressourcen von elektrischen Haushaltsgeräten (seit 1.1.1998: Kühl- /Gefriergeräte, Waschmaschinen, Trockner; seit 1.3.1999: Spülmaschinen; seit 1.7.1999: Haushaltslampen; seit 1.1.2003: Raumklimageräte, Elektrobacköfen). Verpflichtende Höchstwerte für Energieverbrauch nach EnVHV derzeit nur für Kühl- und Gefriergeräte und Teil der Haushaltslampen.	laufend seit 1.1.1998	2,8	6,2	6,8
<b>Ungewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen</b>				2,8	6,2	6,8
<b>Gewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen (ohne Überlagerungseffekte)</b>				2,8	6,2	6,8

Quelle: Abschätzungen Fraunhofer ISI basierend auf Politiksznarien IV (Öko-Institut et al. 2007).

Tabelle 3-52 Wirkung der strombezogenen Maßnahmen im Sektor private Haushalte – Strukturwandel-Szenario

Maßnahme	Typ	Beschreibung/Ziele (Wirkungsbereich)	Umsetzungs- stand (Wirkungs- beginn)	Effekt für Stromaufkommen		
				2010	2020	2030
				TWh		
Verbindliche Mindesteffizienzstandards (EU-Top-Runner)	R	EU-weite Einführung verbindlicher und anspruchsvoller Mindesteffizienzstandards für energiebetriebene Produkte und ihre regelmäßige Dynamisierung (EU-Top-Runner) auf der Grundlage der EU Ökodesign-Richtlinie (Richtlinie 2005/32/EG)	2009			
Verschärfung und Ausweitung der verbindlichen Energieverbrauchskennzeichnung	R	Verbesserung und Aktualisierung der bestehenden EU-weiten verbindlichen Energieverbrauchskennzeichnung und ihre mögliche Ausweitung auf weitere Geräte, basierend auf einer möglichen Revision der EU-Energielabelling-Richtlinie (Richtlinie 1992/75/EG)	2009	2,1	10,20	18,40
Zusätzliche freiwillige Kennzeichnung elektrischer Geräte	I	Zusätzliche freiwillige Vereinbarung über eine konsumentenfreundliche Kennzeichnung elektrischer Geräte (Bestgerätekennzeichnung, Stromverbrauchsangaben)	2009			
Verstärkung von Informationskampagnen	I	Verstärkung von Informationskampagnen zur Erhöhung der Energieeffizienz von elektrischen Geräten (wie der "Initiative Energieeffizienz" der dena)	2009	Begleitende Maßnahme. Wirkung in übrigen Maßnahmen enthalten.		
Smart Metering	I	Einführung intelligenter Zähler zur Stromverbrauchsmessung	2009	0,2	4,7	5,2
Finanzielle Förderung hocheffizienter elektrischer Geräte (Energieeffizienzfonds)	F	Finanzielle Förderung hocheffizienter (marktbester) elektrischer Geräten unter dem Dach eines Energieeffizienzfonds mit verpflichtender Rückgabe der Altgeräte	2009	0,3	1,8	1,8
<b>Ungewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen</b>				2,6	16,8	25,4
<b>Gewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen (ohne Überlagerungseffekte)</b>				2,6	16,8	25,4

Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI.

Im Strukturwandel-Szenario liegt der Stromverbrauch der privaten Haushalte im Jahr 2030 um knapp 52 TWh unter dem im Mit-Maßnahmen-Szenario (Tabelle 3-50). Davon entfallen allerdings die Hälfte der Einsparungen - 26 TWh - auf den Bereich Raumwärme/Warmwasser, die mit Maßnahmen im Gebäudebereich erreicht werden (siehe dazu 3.2.2). Die verbleibenden Einsparungen in Höhe von 25,4 TWh werden durch folgende strombezogenen Maßnahmen erreicht (Tabelle 3-52):

- Einsparungen von gut 5 TWh können durch die zunehmende Einführung von intelligenten Stromzählern im Haushaltsbereich erzielt werden. Die für diese Abschätzung zu Grunde gelegten Annahmen orientieren sich dabei an den Annahmen in der kürzlich veröffentlichten Studie "Investitionen für ein klimafreundliches Deutschland" (Jäger/Jochem et al. 2008). Nach den wenigen bisher vorliegenden Untersuchungen (Darby 2006) liegen die Einsparungen, die durch eine direkte Rückmeldung zum Stromverbrauch erzielt werden können, bei 5 bis 15 % des Stromverbrauchs eines Haushalts. Noch unsicher ist allerdings die Nachhaltigkeit dieser Wirkung, so dass hier von einer erreichbaren

Einsparung pro Haushalt von 5 % ausgegangen wird, d.h. einem eher vorsichtigen Wert an der unteren Grenze der vorliegenden Schätzungen. Nimmt man weiterhin an, dass sukzessive bis zu 75 % der privaten Haushalte mit intelligenten Stromzählern ausgestattet werden, wobei diese Zahl etwa im Jahr 2022 erreicht werden könnte, ergibt sich bis zum Jahr 2030 eine Stromeinsparung von 5,2 TWh.

- Mit einer finanziellen Förderung marktbesten Geräte können bis 2020 weitere Einsparungen von rund 1,8 TWh erreicht werden. Dabei wird angenommen, dass von den insgesamt für einen Energieeffizienzfonds zur Verfügung stehenden finanziellen Mitteln in Höhe von rund 1 Mrd. Euro pro Jahr (siehe dazu auch Abschnitt 3.2.5.1) etwa 200 Mio. Euro für die finanzielle Unterstützung des Kaufs hocheffizienter großer elektrischer Haushaltsgeräte verwendet wird. Bei einem Zuschuss von 100 Euro pro Gerät kann damit der vorzeitige Austausch von 2 Millionen Geräten pro Jahr gefördert werden, mehr als die Hälfte davon Kühl- und Gefriergeräte. Unter der Annahme, dass jeweils ein marktbestes ein Durchschnittsgerät ersetzt, ergibt sich daraus die hier abgeschätzte Einsparung von etwa 1,8 TWh im Jahr 2020. Die relativ geringe Wirkung ist vor allem darauf zurückzuführen, dass sich im Zeitablauf die Energieeffizienz des Marktdurchschnitts bis 2020 verbessert, sowohl autonom als auch durch die EU-seitigen Maßnahmen (Mindeststandards und Labelling). Aus diesem Grund wird auch unterstellt, dass das Programm für Haushaltsgeräte spätestens 2020 beendet wird, da der Gerätebestand dann schon so effizient ist, dass die Stromkosteneinsparung über die Lebensdauer nicht nennenswert über den Mehrkosten der hocheffizienten Geräte liegt.
- Die Wirkung der drei verbleibenden Maßnahmen zu Mindeststandards und einer verschärften Energieverbrauchskennzeichnung wird hier in der Summe abgeschätzt, und zwar als Differenz zwischen dem Stromverbrauch im Mit-Maßnahmen-Szenario und dem im Strukturwandel-Szenario nach Abzug der Maßnahmenwirkungen des Smart Metering und des Energieeffizienzfonds. Eine weitere Aufteilung dieser Maßnahmenwirkungen ist aufgrund der vielfältigen Überschneidungen nicht möglich.

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

#### 3.2.5.1 Rahmendaten und Maßnahmen

##### 3.2.5.1.1 Einführung und Rahmendaten

Die wesentlichen gesamtwirtschaftlichen Rahmendaten für die Sektoren Industrie und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) sind die Entwicklung der realen Bruttowertschöpfung nach Wirtschaftsbereichen sowie die Entwicklung der Zahl der Erwerbstätigen. Die diesbezüglichen Annahmen wurden bereits in Abschnitt 2.1 umfassend dargestellt.

Für die energieintensiven Branchen des Industriesektors sind auch die physischen Produktionsdaten relevante Bestimmungsfaktoren des Energieverbrauchs. Diese Daten wurden auf der Grundlage von Expertenuntersuchungen geschätzt (Tabelle 3-53). Die Entwicklung der Wertschöpfung in der übergeordneten Statistischen Einheit, dem NACE-2-Steller (nach europäischer Aktivitätsklassifizierung), muss dabei nicht unbedingt parallel verlaufen, da sich die Wertschöpfung zum großen Teil an der Produktion der höherwertigen weniger energieintensiven Zwischenprodukten orientiert, weniger an der Produktion von Basismaterialien.

Tabelle 3-53 Erzeugungsdaten für ausgewählte Produkte, 2002-2030

	2002	2005	2015	2020	2025	2030
	Millionen Tonnen					
<b>Metallerzeugung</b>						
Rohstahl	45,0	44,5	44,2	45,1	45,5	45,8
Sauerstoffstahl	31,8	30,9	29,0	28,9	29,1	29,2
EAF Stahl	13,2	13,7	15,2	16,2	16,4	16,6
Primäraluminium	0,65	0,65	0,44	0,22	0,22	-
Sekundäraluminium	0,67	0,72	0,83	0,88	0,93	0,97
Kupferherstellung	0,70	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
<b>Chemie</b>						
Chlor	3,7	5,1	4,2	4,4	4,6	4,8
Kunststoffe	6,2	6,8	8,1	9,0	9,6	10,2
<b>Steine/Erden</b>						
Zement	35,0	33,6	30,9	30,3	29,6	29,0
Kalk	6,6	6,6	6,8	6,9	7,0	7,1
Gips	2,7	2,7	2,9	2,9	3,0	3,0
Behälterglas	4,2		3,85	3,7	3,6	3,4
Flachglas	1,9		1,75	1,73	1,70	1,69
Sonstige Glas	1,3		1,37	1,39	1,42	1,47
<b>Papier</b>	19,6	21,7	27,1	29,2	30,7	32,1

Quelle: Abschätzungen Fraunhofer ISI

### 3.2.5.1.2 Mit-Maßnahmen-Szenario

Für die Modellierung des Energieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Sektoren Industrie und GHD werden im **Mit-Maßnahmen-Szenario** die folgenden Maßnahmen berücksichtigt:

**Einführung des EU-Emissionshandelssystems im Industriesektor** (s. Abschnitt 3.2.6.1.1): Der Emissionshandel betrifft ausschließlich energieintensive Branchen, vorwiegend sind dies die Eisen- und Stahlerzeugung, Zementherstellung sowie die Glas- und Papierproduktion.

**KfW Programme zur Förderung der Energieeffizienz in Industrie und GHD:** KfW-Umweltprogramm, ERP-Energieeffizienzprogramm, ERP-Umwelt- und Einsparprogramm, BMU-Programm zur Förderung von Demonstrationsvorhaben (ohne Gebäude). Hier ist insbesondere das ERP-Energieeffizienzprogramm hervorzuheben, welches in Verbindung mit dem unter Punkt 4 beschriebenen „Sonderfonds Energieeffizienz in KMU“ initiiert wurde und seit 2008 zinsvergünstigte Kredite für Energieeinsparinvestitionen an kleine und mittlere Unternehmen (KMU) vergibt. Für KMU stellt das Energieeffizienzprogramm einen Ersatz des ERP-Umwelt- und Einsparprogramms dar. Die Instrumente wirken hauptsächlich über zinsgünstige Investitionskredite (siehe auch KfW Förderbank 2008a).

**"Initiative Energieeffizienz":** Die seit dem Jahr 2005 erfolgte Ausweitung der "Initiative Energieeffizienz" der dena auf Industrie und GHD sowie weitere *Informationskampagnen* der dena. In GHD ist insbesondere die Initiative „EnergieEffizienz im Dienstleistungssektor“ hervorzuheben, in deren Rahmen umfangreiche Informationen zur Steigerung der Energieeffizienz im Büro bereitgestellt werden. Neben energieeffizienter IT sind besondere Schwerpunkte Lüftung und Klimatisierung sowie Beleuchtung in Bürogebäuden. In der Industrie ist insbesondere die Initiative „Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe“ hervorzuheben, in deren Rahmen über Informationsverbreitung die Energieeffizienz bei Querschnittstechnologien wie Pumpensystemen, Druckluftversorgung, in der Kälte oder Lüftungstechnik verbessert werden soll (siehe auch dena 2008).

**Freiwillige Produktkennzeichnungen für Bürogeräte** insbesondere das „Energy Star-Programm“ der EU: Das „Energy Star Programm“ stammt ursprünglich aus den USA und umfasst in Europa zurzeit die Bereiche Computer, Bildschirme, Faxgeräte, Drucker, Scanner, Kopierer und Multifunktionsgeräte. Es berücksichtigt keine Unterteilung in Effizienzklassen sondern wird für alle Geräte vergeben, die einen festgelegten Mindeststandard erfüllen.

**Sonderfonds Energieeffizienz in KMU:** Der vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie und der KfW Förderbank Ende 2007 initiierte *"Sonderfonds Energieeffizienz in KMU"* (BMWi 2007; KfW 2007). Er richtet sich an kleine und mittlere Unternehmen (KMU) und soll dort Anreize für Investitionen zur Förderung der Energieeffizienz schaffen. Der Sonderfonds ist Anfang 2008 gestartet und besteht aus zwei miteinander gekoppelten Instrumenten. Zum einen wird eine Energieeffizienzberatung in Unternehmen gefördert, bei der qualifizierte Experten Potenziale zur

Energieeinsparung identifizieren. Es wird sowohl eine kurze Initialberatung wie auch eine umfangreichere Detailberatung mit einem Zuschuss zum Beratungshonorar gefördert. Zweiter Baustein des Sonderfonds ist die Gewährung zinsgünstiger Darlehen im Rahmen des „ERP-Energieeffizienzprogramms“ (siehe auch KfW Förderbank 2008a).

**Beschaffung energieeffizienter Produkte und Dienstleistungen im Bereich des Bundes** (Bundesanzeiger 2008): Diese Maßnahme ist im Januar 2008 im Rahmen einer Verwaltungsvorschrift in Kraft getreten und beinhaltet einen Katalog von Leitlinien zur Beschaffung energieeffizienter Produkte und Dienstleistungen.

### 3.2.5.1.3 Strukturwandel-Szenario

Im **Strukturwandel-Szenario** wurden zu den oben aufgeführten, die folgenden Maßnahmen berücksichtigt.

Zunächst lassen sich speziell mit Blick auf die Erhöhung der Energieeffizienz von Bürogeräten und sonstigen elektrischen Anwendungen (Elektromotoren etc.) im GHD- und Industriesektor ähnliche Maßnahmen nennen wie im Bereich der elektrischen Haushaltsgeräte. Dazu gehören vorwiegend die folgenden drei Maßnahmen, bei welchen die Effizienz einzelner Geräte und Produkte im Vordergrund steht. Darauf folgen Maßnahmen, die darauf abzielen, die Effizienz des Gesamtsystems zu verbessern.

**Verbindliche Festlegung von Mindesteffizienzstandards** für energieverbrauchende Produkte unter der EU-Ökodesign-Richtlinie (Richtlinie 2005/32/EG). Ziel der Richtlinie ist die Berücksichtigung von Umweltaspekten bereits bei der Produktgestaltung zu fördern und so die Umweltverträglichkeit von Produkten über den gesamten Lebenszyklus zu verbessern. Diese Rahmenrichtlinie definiert zunächst Voraussetzungen und Kriterien, die dann bei der Festlegung so genannter Durchführungsmaßnahmen auf einzelne Produkte anzuwenden sind. Für jede Produktgruppe, wie z.B. Bürobeleuchtung oder Elektromotoren, muss eine separate Durchführungsmaßnahme beschlossen werden, in welcher die geforderten Mindeststandards aufgeführt sind. Zu den ersten Produkten, für die Durchführungsmaßnahmen beschlossen wurden, gehört die Beleuchtung im tertiären Sektor sowie in privaten Haushalten. Weitere Durchführungsmaßnahmen sind für die Jahre 2009 und 2010 bereits geplant.

**Ausweitung der verbindlichen Energieverbrauchskennzeichnung** auf weitere Geräte und Produkte im GHD- und Industriesektor im Rahmen einer Revision der EU-Richtlinie zur Kennzeichnung des Energieverbrauchs von Haushaltsgeräten (Richtlinie 92/75/EWG). Die ursprüngliche Richtlinie von 1992 zur Kennzeichnung des Energieverbrauchs von Haushaltsgeräten hat bereits in den 90er Jahren eine Reihe von Durchführungsrichtlinien nach sich gezogen, welche die Kennzeichnung von Haushaltsgeräten wie Kühlschränken und Waschmaschinen vorgeschrieben haben. Der derzeitige Revisionsvorschlag der Europäischen Kommission beinhaltet unter anderem eine Ausweitung der Produktgruppen von Haushaltsgeräten auf wei-

tere Bereiche, wie Industrie oder Verkehr. Somit wäre auch eine Kennzeichnung von industriellen Elektromotoren denkbar. Des Weiteren schlägt die Kommission vor die Kennzeichnung von ausschließlich energieverbrauchenden auf energierelevante Produkte auszuweiten, was auch eine Kennzeichnung von Fenstern oder Autoreifen erlauben würde.

**Bestgerätekennzeichnung:** Analog zu den elektrischen Haushaltsgeräten ist auch für elektrische Anwendungen im GHD- und Industriesektor ergänzend zu diesen reinen EU-Maßnahmen – falls europarechtlich möglich - eine zusätzliche *Bestgerätekennzeichnung* denkbar, wie sie in den Eckpunkten für ein integriertes Energie- und Klimaprogramm der Bundesregierung (IEKP-Maßnahme 8) vorgeschlagen wird.

**Gemeinschaftliche Beschaffungsaktionen** (Market Procurement) zur Erhöhung des Anteils energieeffizienter Geräte in Bürogebäuden, die über den Bereich der Bundesregierung (diese Maßnahme ist bereits im Mit-Maßnahmen-Szenario berücksichtigt) hinausgehen. Denn auch im Bereich der Länder und Kommunen sowie im privaten Dienstleistungsbereich kann diese Maßnahme zu einer Erhöhung der Energieeffizienz des Gerätebestands beitragen.

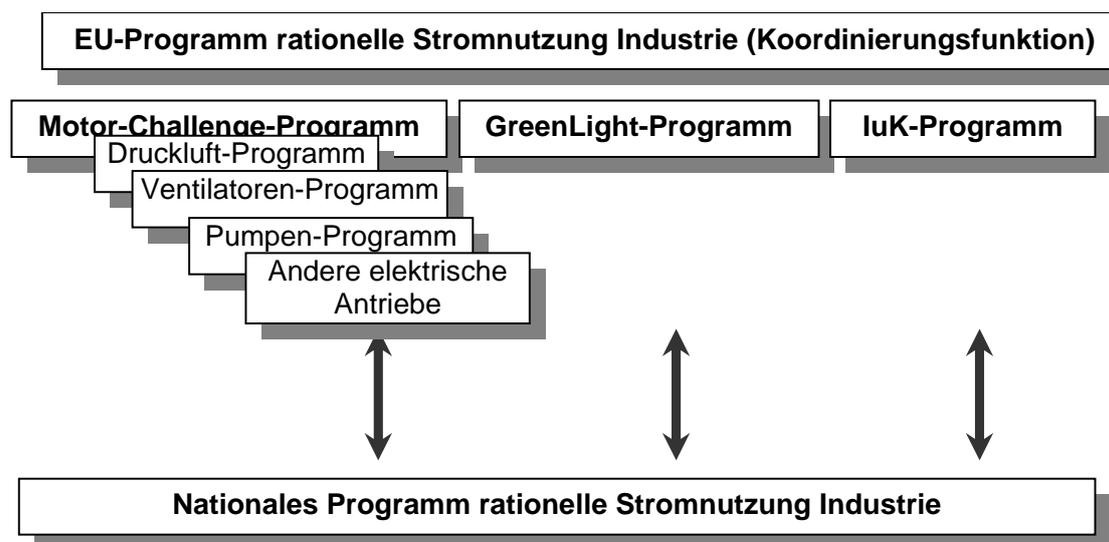
**Energieeffizienzzertifikate ("weiße Zertifikate"):** Die so genannten "Energieeffizienzzertifikate" (auch bezeichnet als "Einsparzertifikate" oder "weiße Zertifikate") stellen ein relativ neues, marktorientiertes Instrument zur Förderung der Energieeffizienz dar. Es handelt sich um Zertifikate, die von einer unabhängigen Institution ausgegeben werden und Energieeinsparungen von Marktteilnehmern als Folge von durchgeführten Energieeffizienz-Maßnahmen belegen. Je nach Ausgestaltung des Systems ist auch ein Handel mit den Zertifikaten möglich. In den letzten Jahren haben UK, Italien und Frankreich dieses Instrument eingeführt. Auch in Artikel 4, Abs. 5 der EU-Richtlinie zur Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen (Richtlinie 2006/32/EG) wird auf Energieeffizienzzertifikate Bezug genommen. Danach prüft die Kommission nach der Berichterstattung über die ersten drei Jahre der Anwendung der Richtlinie, ob das Konzept der "Einsparzertifikate" in Form eines Richtlinienvorschlags weiter entwickelt werden sollte. Bei der Modellierung dieses Instruments werden folgende Aspekte berücksichtigt:

- Bei der Zielbestimmung ist zunächst zu berücksichtigen, dass das Instrument der Weißen Zertifikate hier nur auf den Industrie- und GHD-Sektor (ohne Gebäude) bezogen ist, womit sich die damit zu erzielenden Einsparungen, verglichen mit den Systemen in UK, Italien oder Frankreich deutlich verringern, da sich dort ein Großteil der erzielten Einsparungen auf den Gebäudebereich bezieht (Wohn- und Nichtwohn-Gebäude). Auf der anderen Seite verringert sich dadurch die Möglichkeit der Doppelzählung von Maßnahmenwirkungen. Soweit dennoch Überschneidungen mit anderen hier untersuchten Maßnahmen auftreten, wird dies bei der Modellierung der Maßnahme berücksichtigt. Bei der tatsächlichen Einführung der Maßnahme lässt sich durch eine entsprechende Ausgestaltung des Systems eine Doppelanrechnung von Einsparmaßnahmen durch eine entsprechende Dokumentation weitgehend vermeiden.

- Im Hinblick auf die Ausgestaltung der Zertifikate und die möglichen Transaktionskosten zur Einrichtung eines solchen Systems wird im Wesentlichen auf die Erfahrungen aus anderen Ländern (insbesondere UK) zurückgegriffen. Eine umfassende Konzeption eines Weiße-Zertifikate-Systems für Deutschland kann im Rahmen dieser Studie nicht durchgeführt werden.

**Informationsprogramme und -kampagnen:** Informationsprogramme und -kampagnen spielen sowohl als begleitende Maßnahme für Standards, Label o. ä. als auch als eigenständige Maßnahme eine Rolle. Letztes gilt vor allem für elektrische Querschnittstechniken wie Druckluft, Pumpen, Ventilatoren, Beleuchtung und Informations- und Kommunikations (IuK)-Techniken. Derzeit existieren bereits Ansätze auf EU Ebene (z. B. Motor Challenge Programme und das GreenLight Programme) und auf nationaler Ebene (z. B. Druckluft-Kampagne). Das Fraunhofer ISI hat in diesem Zusammenhang bereits in den Politikszenerarien III ein koordiniertes nationales Programm zur besseren Ausnutzung der hohen technischen und wirtschaftlichen Effizienzpotenziale bei der Nutzung elektrischer Querschnittstechniken in Unternehmen vorgeschlagen, das die Programme der EU aufnimmt und durch nationale Aktivitäten verstärkt.

Abbildung 3-13 Informationsprogramm für Unternehmen



Quelle: Fraunhofer ISI

**Einführung moderner Energiemanagementsysteme:** Durch die Einführung moderner Energiemanagementsysteme lassen sich durch den Einsatz qualifizierter Berater die vorhanden, häufig hoch rentablen Energieeffizienzpotenziale sowohl im Bereich thermischer Anwendungen als auch im gesamten Bereich der industriellen Querschnittstechniken insbesondere in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) stärker ausschöpfen. In den Eckpunkten für ein integriertes Energie- und Klimaprogramm ist vorgesehen, dass spätestens bis 2013 mit der deutschen Wirtschaft eine Vereinbarung über die Koppelung von Steuerermäßigungen an die Einführung eines

Energiemanagementsystems getroffen werden soll (IEKP-Maßnahme 6). Die Ausgestaltung und Modellierung dieser Maßnahme orientiert sich an den Vorgaben der Meseberger Beschlüsse und berücksichtigt darüber hinaus an den im Bericht zur Umsetzung vom 5.12.07 vom BMU gemachten Vorschlag für ein vierstufiges Einführungsmodell und der Vorlage des Entwurfs der europäischen Norm EN 16001 "Energiemanagementsysteme-Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung" von Februar 2008. Das Energiemanagement umfasst unter anderem auch den Ausbau von „Klima-Tischen“ sowie die Einführung von intelligenten Strommessverfahren in Industrie und Gewerbe:

- **Klima-Tische oder lokale lernende Netzwerke:** Klima-Tische, teilweise auch als Energieeffizienz-Tische oder lokale lernende Netzwerke bezeichnet, sind geeignet für Betriebe aus Industrie und Dienstleistungssektoren mit Jahresenergiekosten von mindestens 150.000 Euro. Sie haben als Ziel die Senkung der Transaktionskosten durch Erfahrungsaustausch, gemeinsame Zielsetzung, jährliches Monitoring und Hotline und stellen ein relativ neues Instrument zur Erhöhung der Energieeffizienz in Unternehmen dar. Dieses sehr erfolgreiche Instrument mit CO<sub>2</sub>-Minderungserfolgen von rd. 10.000 t CO<sub>2</sub>/a pro Netzwerk nach vier Betriebsjahren wurde vor 20 Jahren in der Schweiz entwickelt. Derzeit gibt es in Deutschland nur relativ wenige dieser Netzwerke; das Potenzial liegt in Deutschland allerdings bei über 300 Netzwerken. Von juristischer Seite betrachtet gibt es dabei die Aufgabe, standardisierte Verträge zu entwickeln, die den Bedürfnissen der an den Netzwerken teilnehmenden Unternehmen nach Geheimhaltung von Know-how und Betriebsdaten nach außen bei gleichzeitiger hoher Offenheit innerhalb des Netzwerkes entsprechen.
- **Intelligente Messverfahren:** Durch eine Novelle des Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG) zur Liberalisierung des Messwesens sollen innovative Verfahren der Strommessung sowie auch lastabhängige, zeitvariable Tarife ermöglicht und gefördert werden.

**Energieeinsparcontracting:** Das Energieeinsparcontracting umfasst energieverbrauchende Systeme, die nicht direkt an die Produktion des Unternehmens gebunden sind wie z.B. Beleuchtung von Fabrikationshallen, Abwärmenutzung an Kompressorstationen, Wärmebereitstellung oder Wärmeschutzfenster-Systeme. Für den Fall der ungeplanten, vorzeitigen Stilllegung dieser Anlagen oder Liquidation des jeweiligen Contracting-Nehmers entstehen dem Contracting-Geber hohe Risiken, sodass sich dieses Geschäftsfeld bis heute nur zögerlich entwickelt. Diese Risiken müssten durch geeignete rechtliche (und finanztechnische) Musterverträge vermindert werden, die bestimmte Eigenheiten der typischen Effizienztechniken bereits mitberücksichtigen. Auch wird zuweilen durch das Contracting technisches Personal bei dem Contracting-Nehmer freigesetzt, so dass hieraus innerbetrieblicher Widerstand erwächst. Diesen zu mindern ginge durch Personalübernahme; hieraus entsteht ein Bedarf nach rechtlich abgesicherten Personalübernahme-Verträgen, um diese Hürde rechtlicher Unsicherheiten abzubauen.

**Einrichtung eines Energieeffizienzfonds für Deutschland:** Als übergeordnete Maßnahme wird außerdem die Einrichtung eines Energieeffizienzfonds für Deutschland untersucht. Das klassische Instrument eines Fonds ist die Gewährung von finanziellen Anreizen zur Durchführung von Investitionen zur Steigerung der Energieeffizienz. Gegenüber reinen finanziellen Förderprogrammen, wie sie in Deutschland vor allem im Bereich der Gebäudesanierung verbreitet sind, hätte die Bündelung solcher Programme unter dem Dach eines Energieeffizienzfonds den Vorteil, dass der Fonds die Aufgabe einer zentralen Anschubfinanzierung mit einer Koordinierungs- und Steuerungsfunktion verbinden und auch eine Verknüpfung mit bereits bestehenden Politiken und Maßnahmen gewährleisten könnte. In einigen Ländern wird diese Form der Institutionalisierung von Energieeffizienz-Maßnahmen bereits praktiziert (u. a. Energy Saving Trust in UK oder Stromsparmögensfonds in Dänemark). Auch in der EU-Richtlinie zur Endenergieeffizienz und zu Energiedienstleistungen wird in Artikel 11 auf die Einrichtung eines oder mehrerer Fonds zur Durchführung von Energieeffizienzmaßnahmen und die Entwicklung eines Marktes für solche Maßnahmen Bezug genommen. Die Ausgestaltung des Energieeffizienzfonds wird im Folgenden kurz beschrieben.

- Ein Energieeffizienzfonds dient der Förderung eines Portfolios verschiedener Energieeffizienz-Aktivitäten, weil die Transaktionskosten bei vielen Einsparmaßnahmen aus Sicht der Akteure relativ hoch sind. Ein Energieeffizienzfonds senkt für die Akteure die Transaktionskosten, weil in seinem Rahmen die Maßnahmen zentral koordiniert geschehen und die Betreuung und Beratung der Akteure dezentral erfolgt. Im Rahmen dieses Projektes wirkt sich der Effizienzfonds derart aus, dass die Wirkung der Instrumente, die eine Verbesserung der Energieeffizienz von Querschnittstechnologien in den Sektoren Haushalte, GHD und Industrie zum Ziel haben, verstärkt wird und diese unter dem Instrument Energieeffizienzfonds subsumiert werden. Um Doppelzählungen zu vermeiden, ist dies bei der Quantifizierung der betroffenen Maßnahmen zu berücksichtigen. Dabei erfolgt die Zuordnung der Wirkung einzelner Maßnahmen, auch wenn sie unter dem Dach eines Energieeffizienzfonds laufen, in den Politikszenerarien V grundsätzlich sektoral. Im Bereich der hier für den Industrie- und GHD-Sektor vorgeschlagenen zusätzlichen Maßnahmen könnten insbesondere die Einführung von Energiemanagement-Systemen, die gemeinschaftliche Beschaffungsaktivitäten sowie das Energieeinsparcontracting auch unter dem Dach eines Energieeffizienzfonds und nicht als separate Maßnahme erfolgen.
- Sektorübergreifend soll der hier vorgeschlagene Effizienzfonds auch elektrische Haushaltsgeräte sowie gegebenenfalls eine ergänzende finanzielle Förderung effizienter Technologien im PKW-Bereich beinhalten. Auf eine Einbeziehung des Gebäudebereichs, die unter dem Dach eines Effizienzfonds grundsätzlich ebenfalls möglich wäre, wird hier jedoch verzichtet, da dieser Bereich bereits mit relativ vielen finanziellen Maßnahmen abgedeckt

ist und eine Abgrenzung der Wirkungsabschätzung methodisch schwierig ist.

- Erste Modellrechnungen haben gezeigt, dass ein solcher Fonds aufgrund der durch die Fonds-Aktivitäten induzierten Investitionen im privaten und gewerblichen Bereich sowie die mit ihnen verbundenen Energieeinsparungen und CO<sub>2</sub>-Minderungen zumindest mittel- bis langfristig eine rentable Maßnahme zur CO<sub>2</sub>-Reduktion darstellt (Fraunhofer ISI et al. 2007; Irrek/Thomas 2006). Für die Finanzierung eines Energieeffizienzfonds würden sich für Deutschland die erwarteten Einnahmen aus der Versteigerung von Emissionszertifikaten anbieten. Im Hinblick auf das Fondsvolumen wurde im Rahmen der Projektauftragsitzung ein jährliches Budget des Energieeffizienzfonds von rund 1 Mrd. Euro vorgeschlagen. Dieses Volumen erscheint insofern plausibel, als das Fraunhofer ISI in den Arbeiten zur wirtschaftlichen Bewertung des Energie- und Klimaprogramms (Fraunhofer ISI et al. 2007) allein zur Ausschöpfung der wirtschaftlichen Einsparpotenziale im Industrie- und GHD-Sektors ein jährliches Fondsvolumen von mindestens 500 Millionen Euro pro Jahr errechnet hat. Die gleiche Summe würde dann nochmals auf die zusätzlich vom Fonds abgedeckten Bereiche elektrische Haushaltsgeräte und PKW entfallen<sup>17</sup>. Die Finanzierung soll über frische Haushaltsmittel erfolgen, um eine Vermengung der Klimawirkungen unterschiedlicher Maßnahmen zu vermeiden.

Die meisten der Maßnahmen richten sich an Unternehmen sowohl im Sektor Industrie, wie auch GHD. Tabelle 3-54 zeigt, welche Maßnahmen welchem Sektor zugeordnet sind und gibt beispielhaft den Bereich an, auf den die Wirkung hauptsächlich abzielt. Hier ist zu berücksichtigen, dass diese Trennung nicht so scharf gezogen werden kann, wie in der Tabelle dargestellt ist. Insbesondere für die Modellrechnungen müssen Vereinfachungen getroffen werden. Ein Beispiel ist die Kennzeichnung von Bürogeräten (Energy Star), welche hier ausschließlich dem GHD Sektor zugeordnet wurde, in der Realität allerdings auch Bürogeräte in der Industrie betrifft.

---

<sup>17</sup> Der aktuelle Vorschlag des Wuppertal-Instituts (Irrek/Thomas 2006) zur Einrichtung eines EnergieSparFonds in Deutschland, der zwölf Energieeinspar-Programme unter Einbezug des Gebäudebereichs umfasst, geht ebenfalls von erforderlichen Fonds-Mitteln in Höhe von 1 bis 1,5 Mrd. Euro pro Jahr aus.

Tabelle 3-54 Zuordnung und Wirkungsbereich der Maßnahmen in GHD und Industrie

Maßnahme	Industrie	GHD
<b>Mit-Maßnahmen-Szenario</b>		
1. Emissionshandel	Energieintensive Prozesse	-
2. KfW Programme zur Förderung der Energieeffizienz	Siehe Sonderfond „Energieeffizienz“	Siehe Sonderfond „Energieeffizienz“
3. Initiative Energieeffizienz	Querschnittstechnologien (Pumpen, Ventilatoren, Druckluft, Kälte)	Bürobeleuchtung, IKT, Klimatisierung
4. Freiwillige Kennzeichnung von Bürogeräten	-	Drucker, Computer, Monitore
5. Sonderfonds Energieeffizienz in KMU	Beleuchtung, Druckluft, Lüftung, Wärmerück-gewinnung, Wärmeerzeugung, Motor/Antriebe	Motorsysteme, Klimatisierung, Kälte, Beleuchtung
6. Beschaffung energieeffizienter Produkte (Bund)	-	Nur Bundesgebäude: IKT, Beleuchtung
<b>Strukturwandel-Szenario</b>		
7. Mindeststandards für Produkte (EU)	Elektromotoren (IE2), Ventilatoren, Pumpen, Bürobeleuchtung (HFLs)	Elektromotoren (IE2), Büro- und Straßenbeleuchtung, Kommerzielle Kühlung, Computer, Drucker, Ventilatoren
8. Produktkennzeichnung (EU)	Elektromotoren (IE3)	Elektromotoren (IE3), Server
9. Produktkennzeichnung (national)	Kompressoren, Vorschaltgeräte für Beleuchtung	Vorschaltgeräte für Beleuchtung
10. Gemeinsame Beschaffung (nicht Bund)	-	IKT, Beleuchtung
11. Energieeffizienz-zertifikate (Weiße Zertifikate)	Sehr weit, eher homogene Technologiegruppen	Sehr weit, eher homogene Technologiegruppen
12. Informationsprogramme	Kältetechnik, Weitere Elektromotor-Anwendungen	Kältetechnik, Klimatisierung
13. Energiemanagement-Systeme (u.a. "Klima-Tische" und intelligente Messverfahren)	Eher Querschnittstechnologien und Systemverbesserungen. Förderung der Energieeffizienz des Gesamtsystems	Eher Querschnittstechnologien und Systemverbesserungen. Förderung der Energieeffizienz des Gesamtsystems
14. Energieeinsparcontracting	Industrielle Beleuchtung, Druckluftsysteme, Wärmeerzeugung	Straßenbeleuchtung, Bürobeleuchtung, Klimatisierung
15. Energieeffizienz-fonds	Unterstützend zu übrigen Maßnahmen	Unterstützend zu übrigen Maßnahmen

Quelle: Fraunhofer ISI

### 3.2.5.2 Methodik

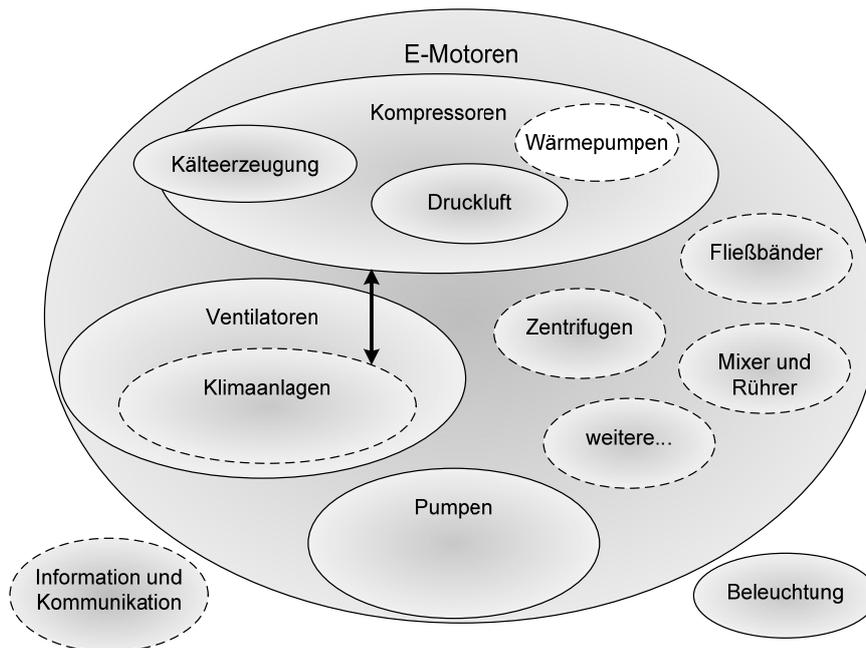
Im Folgenden werden die für die Berechnungen von GHD und Industrie eingesetzten Energienachfragemodelle mit ihren wichtigsten Funktionsweisen kurz beschrieben. Generell ist der Aufbau der Modelle sehr ähnlich, weshalb folgende Beschreibung für beide Modelle gilt.

Die eingesetzten Modelle gehören zur Gruppe der nachfrageseitigen *Bottom-up Modelle*. Mit Hilfe von Energienachfragemodellen lassen sich Möglichkeiten und Potentiale zur Verbesserung der Energieeffizienz und ihre Auswirkungen auf den langfristigen

Energieverbrauch modellieren. Diese Modelle berechnen Energieverbrauch und Emissionen sowie Kosten und Wirkungen von Einsparmaßnahmen auf Einzelprozessebene und bilden damit die Technologiestruktur von Industrie und GHD Sektor im Modell ab. Hierzu greifen die Modelle auf statistische Daten, Veröffentlichungen und Expertenmeinungen zu "best-practice" Prozessen zurück.

Bezüglich der Technologiestruktur in der Industrie können prozessspezifische Technologien und Querschnittstechnologien unterschieden werden. Prozessspezifische Technologien können einzelnen Prozessen des Industriesektors eindeutig zugewiesen werden - als Beispiel kann der Hochofenprozess bei der Stahlherstellung genannt werden. Querschnittstechnologien finden in sämtlichen Branchen und verschiedenen Prozessen Anwendung: Elektromotoren werden zum Beispiel sowohl in der Papierherstellung als auch in der Stahlherstellung eingesetzt (siehe Abbildung 3-14). Beiden Technologiegruppen sind Einsparmaßnahmen zur Effizienzverbesserung zugeordnet, in der Regel in der Form neuer Technologien oder organisatorischer Maßnahmen.

Abbildung 3-14 Schematische Darstellung der Querschnittstechnologien und ihrer Systeme in der Industrie



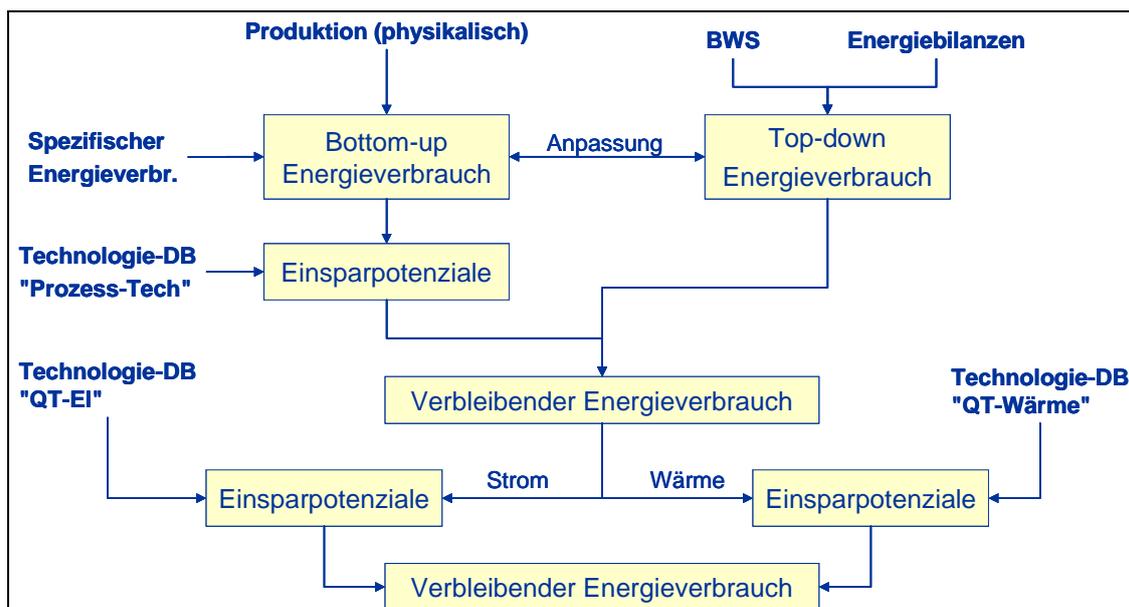
Quelle: Fraunhofer ISI

Der für Bottom-up Modelle typische sehr hohe Detailliertheitsgrad bezüglich der technologischen Struktur geht häufig einher mit einem sehr niedrigen Grad an Endogenisierung, d.h. viele der Modellvariablen werden nicht im Modell berechnet sondern gehen als exogene Größe in die Modellierung ein (Koch et al. 2003). Rückwirkungen zwischen Variablen können somit kaum abgebildet werden. Die eingesetzten Energienachfragemodelle benötigen z.B. die Energiepreise, Produktions- und Wirtschaftsents-

wicklungen, Entwicklungspfade neuer Technologien und ihre Kosten als exogene Daten, die sich während der Modellierung nicht ändern.

Ein Vorteil des Bottom-up Ansatzes für das Industriemodell ist insbesondere die Berücksichtigung der physischen Produktion der wichtigsten energieintensiven Produkte zur Erstellung der Projektionen. Alternativ geschieht dies häufig über die Entwicklung der Wertschöpfung. Die Wertschöpfung ist jedoch eine weniger geeignete Bezugsgröße, da eine Erhöhung der Wertschöpfung nicht zwangsläufig eine für den Energieverbrauch relevante Produktionssteigerung widerspiegeln muss, sondern auch durch eine Wertsteigerung hervorgerufen sein kann. Im Gegensatz zur Wertschöpfung ist die physische Produktion direkt mit dem Energieverbrauch gekoppelt. Im Industriemodell werden ca. 40 Produkte einzeln anhand von Produktionsprognosen abgebildet (die wichtigsten sind in Tabelle 3-53 aufgeführt). Diese energieintensiven Produkte machen ca. die Hälfte des Energieverbrauchs aus. Der verbleibende Energieverbrauch, der auf eine sehr viel größere Anzahl von Produkten zurückzuführen ist, wird anhand der Wertschöpfung projiziert.

Abbildung 3-15 Vereinfachte Darstellung des Industriemodells



Quelle: Fraunhofer ISI

Querschnittstechnologien, welche in verschiedenen Branchen der Industrie eingesetzt werden, sind in die folgenden beiden Gruppen unterteilt (in Abbildung 3-15 als „QT-EI“ und „QT-Wärme“ bezeichnet):

- Industrielle Verbrennungsanlagen im Temperaturbereich unterhalb 500°C (industrielle KWK, reine industrielle Dampferzeuger). Anlagen im höheren Temperaturbereich sind häufig sehr prozessspezifisch und werden somit in den einzelnen Branchenberechnungen berücksichtigt (QT Wärme).

- Elektrische industrielle Querschnittstechnologien: Elektromotoren, Druckluft, Pumpen/Ventilatoren, Kühlung/Klimatisierung, weitere Motoranwendungen Beleuchtung (QT-EI).

Die Branchenstruktur des Industriemodells ist dabei wie folgt aufgebaut (in Klammern sind die Produkte angegeben, die explizit im Modell berücksichtigt werden):

- Eisen und Stahl (Sinter, Koks, Hochofenstahl, Elektrostahl, Walzstahl)
- Nicht-Eisen Metalle (Primär- und Sekundäraluminium, weiterverarbeitetes Aluminium, Kupfer, Zink)
- Chemische Industrie (Chlor, PE, PP, PVC)
- Nicht-metallische Rohstoffe (Zement, Klinker, Kalk, Gips, Flachglas, Behälterglas, Haushalts- und technische Gläser)
- Papier und Zellstoff (Papier, Faserstoff, Zellstoff, wiederverwertetes Papier)
- Maschinenbau
- Nahrungsmittelindustrie
- Sonstige Wirtschaftszweige

Für die Sektoren Maschinenbau, Nahrungsmittelindustrie und sonstige Industrie wurden keine physischen Produktionsmengen berücksichtigt, da die Struktur hier sehr heterogen ist. Somit basieren die Projektionen in diesen Sektoren ausschließlich auf den Prognosen für die Entwicklung der Wertschöpfung.

Das Modell für den Sektor GHD ist grundsätzlich dem Industriemodell sehr ähnlich, mit dem Unterschied, dass es ausschließlich Querschnittstechnologien berücksichtigt und keine Prozesse anhand von physischen Aktivitätsgrößen abbildet (vgl. Abbildung 3-15 QT-EI und QT-Wärme). Des Weiteren ist nicht die Bruttowertschöpfung sondern die Anzahl der Erwerbstätigen der Haupttreiber des Energieverbrauchs (vgl. Tabelle 2-7). Der Energieverbrauch des gesamten Sektors hat sich in der Vergangenheit eher mit der Anzahl der Erwerbstätigen als mit der Bruttowertschöpfung entwickelt, welche deutlich stärker gewachsen ist. Diese Wahl des „Treibers“ muss auch bei Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden. Ein prognostizierter Rückgang der Erwerbstätigen führt auch bei konstanter technischer Effizienz zu einem Rückgang des Energieverbrauchs. Die Berechnungen wurden auf Ebene des gesamten tertiären Sektors durchgeführt, somit spiegeln sich Verschiebungen zwischen den einzelnen Subsektoren nicht im Energieverbrauch wieder. Diese Vereinfachung war nötig, da keine vollständigen Daten zu den Anteilen der Anwendungen am Energieverbrauch auf Ebene der Subsektoren verfügbar waren (vgl. Abbildung 3-17).

Die detaillierte Struktur von bottom-up Energienachfragemodellen erlaubt eine direkte Einbindung von politischen Maßnahmen und ihre Zuordnung zu einzelnen Technologien und möglichen Maßnahmen zur Effizienzverbesserung. Diese Methodik wurde auch für das Industrie- und das GHD-Modell bei den meisten Maßnahmen verfolgt. Insbesondere eignet sich die Methodik für Maßnahmen, die eindeutig einer bestimmten

Technologie oder einer Gruppe von Technologien zugeordnet sind. Als Beispiel kann hier Energieeinsparcontracting bei industriellen Beleuchtungssystemen genannt werden. Das technologische System auf das die Maßnahme wirkt ist hier klar abzugrenzen, nur die Stärke der Wirkung muss aus Erfahrungs- bzw. Literaturwerten und den Zielen der Maßnahme abgeleitet werden. So kann z.B. über die Anzahl der Unternehmen, von denen man erwartet, dass sie Contracting als Maßnahme einsetzen, auf die Durchdringung der Maßnahme geschlossen werden. Wird von max. 5% aller Unternehmen erwartet, dass sie bis zum Jahr 2020 auf Contracting setzen, so können auch maximal 5 % des gesamten Einsparpotenzials realisiert werden. Wenn auch die zweite Variable eine deutliche Unsicherheit darstellt, so ist alleine mit der eindeutigen Zuordnung der Maßnahme zu industriellen Beleuchtungssystemen bereits ein relativ enges Intervall für die Wirkung vorgegeben.

Deutlich größeren Unsicherheiten ist die Bewertung von Maßnahmen unterworfen, die nicht direkt einer Technologie bzw. einer Technologiegruppe zugeordnet werden können. Hier muss aus Erfahrungswerten abgeschätzt werden, worauf die Maßnahmen wirken. Z.B. der „Sonderfonds Energieeffizienz in KMU“ fördert allgemein Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz, im Jahr 2008 waren allerdings 80 % der geförderten Maßnahmen im Bereich der Gebäudeisolierung angesiedelt.

Als einzige Maßnahme wurde der Emissionshandel mit einer abweichenden Methodik bewertet. Hier wurden die Ergebnisse eines Modelllaufs mit deaktiviertem Emissionshandel mit einem Modelllauf, bei welchem der Emissionshandel aktiviert war, verglichen. Die durch den Emissionshandel zusätzlich wirtschaftlich gewordenen Maßnahmen stellen dann die Wirkung des Emissionshandels dar. Diese Herangehensweise lässt allerdings außer Acht, dass Unternehmen nicht völlig rational handeln und evtl. wirtschaftliche Einsparmaßnahmen nicht umsetzen.

Mögliche Überschneidungen zwischen den Maßnahmen werden bereits bei der Modellierung berücksichtigt und anteilig den jeweiligen Maßnahmen abgezogen.

Generell wurde bei der Bewertung der Maßnahmen davon ausgegangen, dass diese konsequent umgesetzt werden.

### **3.2.5.3 Annahmen und Parameter**

Im Folgenden sollen die wichtigsten Annahmen dargelegt werden, die für die Quantifizierung der einzelnen Maßnahmen getroffen wurden. Annahmen und Rahmendaten, welche die Entwicklung der Sektoren betreffen, wurden bereits in Kapitel 3.2.5.1 diskutiert.

Für die Quantifizierung der Wirkungen des „Europäischen Emissionshandels“ stellen die Zertifikatspreise die wichtigste Annahme dar. Eine Schwierigkeit bei der Modellierung ist die Abgrenzung der Unternehmen, die am Emissionshandel teilnehmen. Während einige industrielle Prozesse explizit dem Emissionshandel unterworfen sind, sind andere nur über die Gruppe der „Verbrennungsanlagen“ berücksichtigt. Diese umfasst sämtliche Anlagen mit einer Feuerungswärmeleistung von mindestens 20 MW. In eini-

gen Sektoren (z.B. Papierherstellung) ist daher nicht eindeutig, wie viele der Anlagen über die Regel der Verbrennungsanlagen tatsächlich am Emissionshandel teilnehmen. Die energieintensiven Prozesse wurden alle dem Emissionshandel zugeordnet.

1. Die Modellierung des Emissionshandels orientiert sich damit an der Ausgestaltung bis 2012. Die unterschiedlichen Vorschläge zur Ausgestaltung nach 2012 wurden nicht berücksichtigt. Mögliche Rückwirkungen des Zertifikatspreises auf Produktionsmengen werden nicht betrachtet.
2. Die Wirkung der „KfW Programme“ wird im Rahmen des „Sonderfonds Energieeffizienz in KMU“ modelliert (s.u.).
3. Zur „Initiative Energieeffizienz“ wurde angenommen, dass sie dazu beiträgt, in den Bereichen Elektromotoren, Druckluft, Pumpen, Bürobeleuchtung sowie Informations- und Kommunikationstechnologie bis zu 10 % des wirtschaftlichen Einsparpotenzials zu realisieren. Die Initiative Energieeffizienz zeichnet sich durch starke Überschneidungen mit den übrigen Maßnahmen und Fördermöglichkeiten aus. Generell ist die Abschätzung der Wirkung sehr hohen Unsicherheiten unterworfen und in der Quantifizierung schwierig von anderen Effekten abzugrenzen.
4. Die Wirkung der „Freiwilligen Kennzeichnung von Bürogeräten“ wurde für Drucker, Monitore und Computer modelliert. Es wurde angenommen, dass der Energy Star langfristig zu einer Realisierung von 10 % des wirtschaftlichen Einsparpotenzials in diesen Bereichen führt. Wie bei Informationskampagnen ist allerdings auch bei Produktkennzeichnungen relativ unsicher, wie groß die induzierte Verhaltensänderung ist. Durch den relativ niedrigen Stromverbrauch von Druckern, Monitoren und Computern im tertiären Sektor, ist das maximal realisierbare Einsparpotenzial allerdings sehr begrenzt.
5. Die Modellierung des Anfang 2008 gestarteten „Sonderfonds Energieeffizienz in KMU“ richtet sich an den Erfahrungen der ersten Jahreshälfte 2008. Während der bisherigen Laufzeit gingen ca. 80 % des Fördervolumens in den Bereich Gebäudeisolierung, welcher nicht Gegenstand dieses Kapitels ist. Die verbleibenden 20% des Fördervolumens gingen vorwiegend an Investitionen in den Maschinenpark und Querschnittstechnologien<sup>18</sup>. Auf diese Bereiche wurde die Wirkung des Fonds auch für den Prognosezeitraum angesetzt. Ein weiteres Kriterium, das die Wirkung des Fonds eingrenzt, ist die Beschränkung auf kleine und mittlere Unternehmen (KMU). Laut einer aktuellen Auswertung des Statistischen Bundesamtes (Kless et al. 2008) machen KMU ca. 97 % der Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes aus. Sie stellen 45 % der Beschäftigten und erwirtschaften 23 % des Umsatzes. Betrachtet man die Anzahl der Beschäftigten, bzw. den Umsatz als Indikator für den Energieverbrauch, so können mit dem Sonderfonds maximal 23-45 % des gesamten Einsparpotenzials im Verarbeitenden Gewerbe erschlossen werden.

---

<sup>18</sup> Mitteilung der kfw vom 17.10.2008

6. Die „*Beschaffung energieeffizienter Produkte im Bereich des Bundes*“ wurde anhand von Produkten im Bereich Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) sowie der Beleuchtung modelliert. Bundesliegenschaften hatten im Jahr 2004 mit 7,28 Mio. m<sup>2</sup> einen Anteil von ca. 1 % an der Gesamtfläche aller Büroähnlichen Gebäude (Hansen & Kleemann 2005 S. 30, Schlomann et al. 2008). Folglich ist auch das maximal erschließbare Einsparpotenzial ähnlich begrenzt. Diese Annahmen setzen eine konsequente Beschaffung der effizientesten Geräte in sämtlichen Bundesliegenschaften voraus.
7. Die Einführung von „*Mindeststandards im Rahmen der EU-Ökodesign Richtlinie*“ wird auf die folgenden Produkte modelliert: Elektromotoren (IE2), Ventilatoren, Pumpen, Bürobeleuchtung, Büro- und Straßenbeleuchtung, Kommerzielle Kühlung, Computer, Drucker. Es wird davon ausgegangen, dass die in den Begleitstudien zur Richtlinie vorgeschlagenen Mindeststandards bis spätestens 2015 umgesetzt sind. Mindeststandards fördern ausschließlich produktbezogene Effizienzverbesserungen und lassen Verbesserungen des Gesamtsystems außer Acht. So gibt ein Mindeststandard zum Wirkungsgrad von Pumpen keine Anreize zu Verbesserungen des Gesamtsystems, in das die Pumpe eingebunden ist. Die Wirkung von Mindeststandards lässt sich mit relativ hoher Sicherheit modellieren und die Ergebnisse sind vergleichsweise belastbar.
8. Die „*Revision der Richtlinie zur Kennzeichnung des Energieverbrauchs von Haushaltsgeräten*“ wird anhand von Elektromotoren (IE3 Effizienzklasse) und Servern modelliert. Es wird davon ausgegangen, dass die Kennzeichnung langfristig einen deutlichen Einfluss auf Käufer und Hersteller haben wird und die Marktdurchdringung effizienter Geräte auf 50 % anhebt. Zu Elektromotoren definiert zwar die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) Effizienzklassen, legt aber keine verbindlichen Anforderungen an die Umsetzung fest. Die Umsetzung und insbesondere die Darstellung der Effizienzklassen z.B. in Produktkatalogen sind jedoch ausschlaggebend für die Wirkung der Maßnahme und müssen zusätzlich festgelegt werden – z.B. im Rahmen der oben genannten Richtlinie.
9. Die Maßnahme des „*nationalen Labellings*“, welche konzipiert wurde, um Lücken im EU-Labeling zu schließen, wird auf die Bereiche Kompressoren, Vorschaltgeräte für Hochdruckentladungslampen und Leuchtstoffröhren, sowohl in Industrie wie auch in GHD modelliert. Die Wirkung wird ähnlich hoch wie beim EU-Labeling angenommen.
10. Für die Modellierung der Erweiterung der Maßnahme zur „*Gemeinsamen Beschaffung energieeffizienter Geräte*“ über Bundesliegenschaften hinaus werden die gleichen Produktgruppen zugrunde gelegt (IKT und Beleuchtung). Die Wirkung erstreckt sich hier jedoch auf den gesamten öffentlichen Sektor und den Bereich der Finanzdienstleistungen, welcher eine relative homogene Struktur aufweist und sich deshalb für gemeinsame Beschaffungen eignet. Diese Ge-

bäude machen laut Odyssee Datenbank ca. 40 % der Gebäudefläche des tertiären Sektors aus<sup>19</sup>. Es wird angenommen, dass in der Hälfte der betroffenen Gebäudetypen eine gemeinsame Beschaffung umgesetzt wird. Somit ist langfristig die maximale Durchdringung dieser Maßnahme bei 20 % des gesamten Einsparpotenzials begrenzt.

11. Erfahrungen mit *“Energieeffizienzsertifikaten”* und bestehende vergleichbare Programme, wie z.B. der Energy Saving Trust in Großbritannien beschränken sich bisher vorwiegend auf den Haushaltsbereich. Die Abschätzung der Wirkungen in Industrie und GHD ist daher nur schwierig möglich. Im Modell wirken die Energieeffizienzsertifikate vorwiegend auf Querschnittstechnologien, die relativ homogen in ihrer Struktur sind, sodass vergleichbare Maßnahmen in verschiedenen Unternehmen umgesetzt werden können. Auch wenn für die Berechnungen kein detailliertes Zertifikatesystem konzipiert wurde, so zeigen die Ergebnisse doch, welche Einsparpotenziale vorhanden sind und mit einem anspruchsvollen Zertifikatesystem ausgeschöpft werden könnten.
12. Die zusätzlichen *“Informationsprogramme”* sind als Erweiterung der Initiative Energieeffizienz der deutschen Energieagentur zu sehen und wirken auf die Bereiche Kommerzielle Kälte, zusätzliche Motoranwendungen, und Klimatisierung. Die Wirkung wurde mit bis zu 5 % des gesamten Einsparpotenzials in diesen Bereichen als eher niedrig angenommen.
13. Beim *“Energiemanagement”* wird davon ausgegangen, dass es dazu beiträgt Hemmnisse und Barrieren zu reduzieren und somit Unternehmen bereits wirtschaftliche Einsparpotenziale realisieren. Als untergeordnete Instrumente wurden hier die Klimatische sowie die intelligenten Messverfahren betrachtet. Klimatische sind Netzwerke von Unternehmen, die sich gemeinsame CO<sub>2</sub> Minderungsziele setzen und voneinander lernen. Für Deutschland wurde ein Potenzial von insgesamt 700 Klimatischen ermittelt, wovon 300-500 relativ kurzfristig realisiert werden können (Fraunhofer ISI et al. 2008, S. 180). Für die Berechnungen wurde angenommen, dass bis 2020 ca. 300 Klimatische eingerichtet werden. Aus bisherigen Erfahrungen geht hervor, dass vorgeschlagene und durchgeführte Effizienzmaßnahmen vorwiegend im Bereich der Querschnittstechnologien angesiedelt sind. Dies wurde auch in den Projektionen so berücksichtigt (Jochem et al. 2007 S.810).
14. Die Wirkung des *“Energieeinsparcontractings”* wird in den Bereichen Industrielle Beleuchtung, Druckluftsysteme, Wärmeerzeugung, Straßenbeleuchtung, Bürobeleuchtung und Klimatisierung modelliert. Es wird angenommen, dass bis zum Jahr 2020 15 % der Unternehmen Energieeinsparcontracting in diesen Bereichen einsetzen. Bei Straßenbeleuchtung wurden 40 % angenommen, da hier bereits ein starker Anstieg zu verzeichnen ist. Dies ist generell eine eher opti-

---

<sup>19</sup> <http://www.odyssee-indicators.org/>

mistische Annahme, womit die Ergebnisse als obere Grenze der Wirkungen in den genannten Bereichen angesehen werden können.

- Die Modellierung des Energieeffizienzfonds, wie er in dieser Studie konzipiert wurde, ist nur begrenzt möglich, da er sowohl darauf abzielt, Transaktionskosten zu senken, als auch finanzielle Förderung bereitstellt und große Überschneidungen mit anderen Maßnahmen bestehen. Dem Fonds wurde ein jährliches Volumen von 500 Mio. Euro für Industrie und GHD zugerechnet. Die Wirkung wurde vergleichbar mit Fraunhofer ISI (2007) berücksichtigt.

Großen Einfluss auf die Wirkung der Maßnahmen haben die zu den einzelnen Technologien im Modell hinterlegten Daten. Für die Industrie sind z.B. die Anteile der Querschnittstechnologien an den einzelnen Wirtschaftszweigen eine wichtige Größe. Die hierfür zugrunde gelegten Annahmen basieren auf Literaturlauswertungen und Expertenschätzungen und sind in Tabelle 3-55 dargestellt. Insgesamt machen Elektromotoren über 60 % des Stromverbrauchs der Industrie aus. Beleuchtung spielt mit gut 5 % eine eher untergeordnete Rolle.

*Tabelle 3-55      Anteile der Querschnittstechnologien am Stromverbrauch der Wirtschaftszweige des produzierenden Gewerbes*

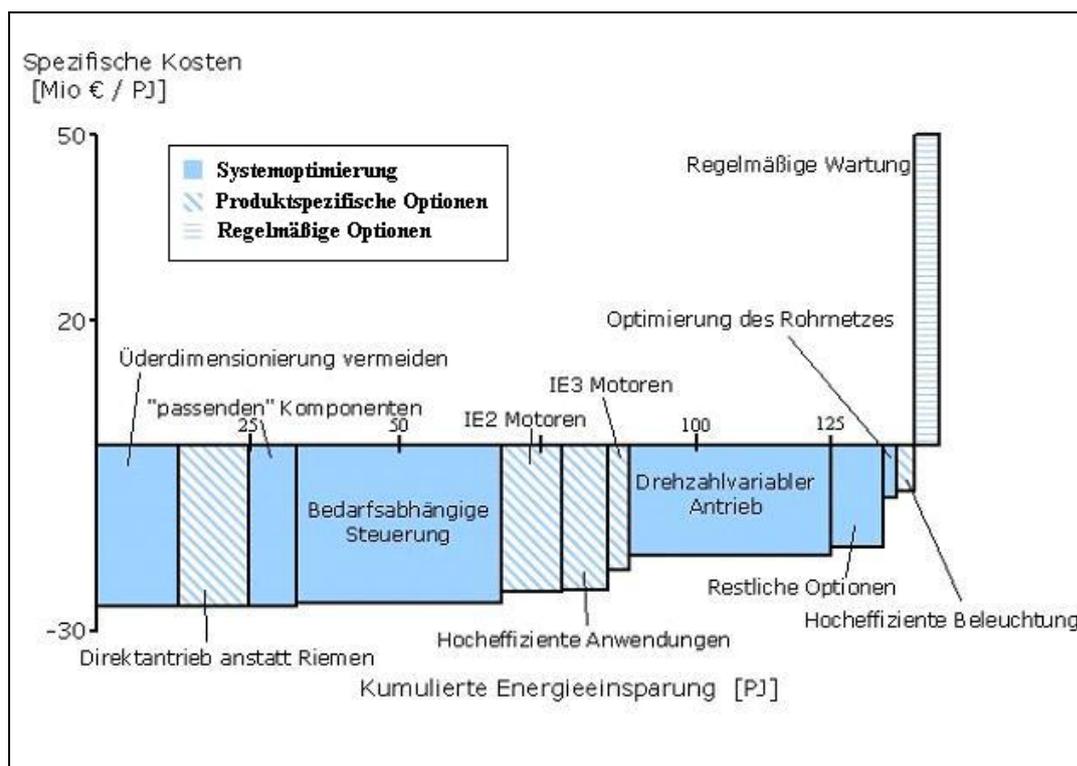
Sektor	Nicht-Motor Anwendungen		Motor Anwendungen					
	Beleuchtung	Prozesstechnologie	Druckluft	Kälteerzeugung	Ventilatoren	Pumpen	Andere Motor Anwendungen	Alle Motor Anwendungen
Gew. Steinen/Erd, s. Bergb.	6%	2%	6%	4%	9%	13%	59%	92%
Ernährung und Tabak	10%	6%	8%	27%	10%	9%	30%	84%
Papiergewerbe	3%	22%	10%	0%	16%	43%	6%	75%
Grundstoffchemie	3%	30%	5%	4%	7%	18%	33%	67%
sonst. Chem. Ind.	6%	15%	6%	5%	8%	21%	39%	79%
Gummi-, Kunststoffwaren	6%	33%	15%	4%	9%	5%	27%	61%
Glas und Keramik	9%	28%	20%	0%	20%	9%	14%	63%
Verarb.v.Steinen/Erd.	6%	8%	17%	0%	9%	5%	55%	86%
Metallerzeugung	2%	37%	2%	0%	9%	5%	45%	61%
NE-Metalle, Giessereien	2%	63%	2%	0%	7%	2%	23%	35%
Metallbearbeitung	6%	40%	5%	0%	12%	1%	37%	54%
Maschinenbau	12%	13%	15%	1%	9%	5%	45%	75%
Fahrzeugbau	12%	16%	12%	1%	9%	5%	45%	72%
Sonstige Sektoren	6%	19%	14%	1%	11%	5%	45%	76%
<b>gewichtetes Mittel:</b>	<b>6%</b>	<b>27%</b>	<b>8%</b>	<b>3%</b>	<b>10%</b>	<b>11%</b>	<b>34%</b>	<b>67%</b>

Quellen: Fraunhofer ISI, basierend auf Radgen et al. 2001; Radgen 2002, Almeida et al. 2001

Für die in Tabelle 3-55 gezeigten Querschnittstechnologien sind im Modell über 80 einzelne Einsparoptionen hinterlegt, welche über ihre Verbreitung den Energieverbrauch der einzelnen Systeme determinieren. Abbildung 3-16 zeigt die Kosten einzelner Gruppen von Einsparoptionen. Es ist deutlich zu erkennen, dass – im Mittel – die meisten Einsparoptionen im Bereich der industriellen Querschnittstechnologien

wirtschaftlich realisierbar sind. Verschiedene Studien haben allerdings gezeigt, dass aufgrund vielfältiger Hemmnisse und Umsetzungsbarrieren ein Großteil der vorhandenen Optionen nicht umgesetzt wird. Politische Instrumente setzen hier gezielt an der Verringerung der Barrieren an und beschleunigen so die Umsetzung von Einsparmaßnahmen.

Abbildung 3-16 Kosten-Potenzialkurve für das Jahr 2030 - Überblick der Einsparoptionen und ihrer Kosten bei industriellen Querschnittstechnologien



Quelle: Berechnungen von Fraunhofer ISI (siehe auch Fleiter 2008)

Die Effekte der umgesetzten Einsparmaßnahmen in den Szenarien MMS und SWS sind in Tabelle 3-56 dargestellt. Der berechnete Index zeigt die Effizienz des jeweiligen Systems im Vergleich mit der Effizienz bzw. dem spezifischen Energiebedarf aus dem Jahr 2005.

Tabelle 3-56 Resultierende Entwicklung der Energieeffizienz einzelner Querschnittstechnologien im Sektor Industrie

Anwendung	2004	MMS		SWS	
		2020	2030	2020	2030
Kälteerzeugung	1,00	0,92	0,90	0,78	0,72
Druckluft	1,00	0,85	0,82	0,66	0,60
Ventilatoren	1,00	0,88	0,84	0,71	0,63
Beleuchtung	1,00	0,89	0,87	0,72	0,67
Pumpen	1,00	0,88	0,84	0,70	0,61
Übrige Motoranwendungen	1,00	0,90	0,87	0,74	0,68
Alle Anwendungen	1,00	0,89	0,86	0,72	0,65

Quelle: Berechnungen von Fraunhofer ISI

In ähnlicher Weise wie den Querschnittstechnologien sind auch den industriellen Prozessen Einsparmaßnahmen zugeordnet. Tabelle 3-57 zeigt, wie sich die hinterlegten Einsparmaßnahmen auf den spezifischen Energieverbrauch einzelner Prozesse der Industrie auswirken. Mit „0“ ausgefüllte Felder sind entweder darauf zurückzuführen, dass das Verfahren nicht mehr angewendet wird (z.B. Chlor Amalgamverfahren) oder keinen bzw. kaum Strom oder Brennstoffe benötigt. Negative Werte, z.B. bei der Holzstoffproduktion bedeuten, dass in dem jeweiligen Verfahren ein Energieüberschuss besteht - in diesem Fall Biomasse, die weiter genutzt werden kann. Beim Zellstoffverfahren beispielsweise setzt sich im Strukturwandelszenario die Schwarzlaugenvergä- sung, wodurch die Eigenstromproduktion der Zellstofffabrik so stark ansteigt, dass sie den eigenen Bedarf übersteigt. Sämtliche der spezifischen Werte beinhalten noch nicht die Verbesserungen in den oben genannten Querschnittstechnologien, welche z.B. auch die Papierproduktion effizienter machen, indem z.B. Motoren mit höherem Wirkungsgrad eingesetzt werden.

Tabelle 3-57 Entwicklung des spezifischen Energiebedarfs einzelner Produkte im Mit-Maßnahmen-Szenario

Sektor	Prozess	2005	2020	2030	2005	2020	2030
		Strom			Brennstoffe		
		GJ / t					
Chemie	Chlor - Amalgamverfahren	12,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Chlor - Diaphragmaverfahren	10,27	10,09	9,99	2,20	2,20	2,20
	Chlor - Membranverfahren	9,86	9,71	9,61	0,65	0,65	0,65
	Polyethylene (PE)	1,08	1,00	0,95	1,80	1,80	1,80
	Polypropylene (PP)	1,11	1,09	1,09	1,80	1,80	1,80
	Polyvinyl chloride (PVC)	3,57	3,57	3,57	1,80	1,80	1,80
Eisen und Stahl	Elektrostahl-Verfahren	1,87	1,81	1,75	0,43	0,43	0,43
	Koksofen	0,14	0,14	0,14	3,19	3,10	3,01
	Oxygenstahl - Hochofen	0,36	0,32	0,30	12,59	12,50	12,40
	Sintem	0,12	0,12	0,12	1,79	1,70	1,62
	Walzstahl	0,34	0,33	0,33	1,62	1,54	1,47
Glas	Behälterglas	1,62	1,62	1,62	7,61	7,27	7,01
	Flachglas	1,75	1,71	1,68	7,48	7,33	7,11
	übriges Glas	5,23	5,23	5,23	17,28	17,00	16,61
Nicht-Eisen Metalle	Aluminiumbearbeitung	3,65	3,55	3,48	6,19	6,02	5,90
	Gebälaseschachtofen	17,55	17,13	16,85	1,12	1,10	1,08
	Kupferbearbeitung	4,25	4,18	4,13	5,63	5,53	5,46
	Primäraluminium	59,57	58,03	0,00	10,36	10,12	0,00
	Primärkupfer	3,14	3,12	3,10	15,30	15,19	15,11
	Sekundäraluminium	1,88	1,81	1,77	12,39	11,93	11,63
	Sekundärkupfer	2,62	2,53	2,47	7,57	7,32	7,15
Papier und Faserstoff	Altpapierstoff	0,94	0,92	0,92	0,74	0,73	0,72
	Holzstoff - Verfahren	8,46	7,79	7,55	-3,10	-3,27	-3,33
	Papier	1,98	1,96	1,94	6,01	5,69	5,53
	Zellstoff - Verfahren	2,26	1,92	1,57	13,58	13,60	13,59
Zement	Gewinnung von Kalkstein	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00
	Gipsmahlen	0,16	0,16	0,16	0,00	0,00	0,00
	Kalkmahlen	0,24	0,23	0,23	0,00	0,00	0,00
	Klinker Brennen (halbtrocken)	0,00	0,00	0,00	3,68	3,56	3,55
	Klinker Brennen (trocken)	0,00	0,00	0,00	3,43	3,29	3,22
	Rohstoffaufbereitung	0,09	0,09	0,09	0,00	0,00	0,00
	Zementmahlen	0,24	0,23	0,23	0,00	0,00	0,00

Quelle: Berechnungen von Fraunhofer ISI

Tabelle 3-58 Entwicklung des spezifischen Energiebedarfs einzelner Produkte im Strukturwandelszenario

Sektor	Prozess	2005	2020	2030	2005	2020	2030
		Strom			Brennstoffe		
		GJ / t					
Chemie	Chlor - Amalgamverfahren	12,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Chlor - Diaphragmaverfahren	10,27	9,83	9,63	2,20	2,20	2,20
	Chlor - Membranverfahren	9,86	9,47	9,29	0,65	0,65	0,65
	Polyethylene (PE)	1,08	0,87	0,77	1,80	1,80	1,80
	Polypropylene (PP)	1,11	1,07	1,06	1,80	1,80	1,80
	Polyvinyl chloride (PVC)	3,57	3,57	3,57	1,80	1,80	1,80
Eisen und	Elektrostahl-Verfahren	1,87	1,56	1,40	0,43	0,44	0,45
	Koksofen	0,14	0,14	0,14	3,19	3,00	2,89
	Oxygenstahl - Hochofen	0,36	0,24	0,17	12,59	12,37	12,25
	Sintem	0,12	0,12	0,12	1,79	1,55	1,41
	Walzstahl	0,34	0,32	0,32	1,62	1,27	1,09
Glas	Behälterglas	1,62	1,62	1,62	7,61	6,90	6,39
	Flachglas	1,75	1,67	1,63	7,48	7,09	6,81
	übriges Glas	5,23	5,23	5,23	17,28	16,59	16,11
Nicht-Eisen	Aluminiumbearbeitung	3,65	3,27	3,03	6,19	5,54	5,14
	Gebälteschachtofen	17,55	16,04	15,09	1,12	1,03	0,97
	Kupferbearbeitung	4,25	3,97	3,79	5,63	5,25	5,01
	Primäraluminium	59,57	53,96	0,00	10,36	9,47	0,00
	Primärkupfer	3,14	3,05	3,00	15,30	14,89	14,63
	Sekundäraluminium	1,88	1,62	1,46	12,39	10,67	9,60
	Sekundärkupfer	2,62	2,29	2,08	7,57	6,61	6,01
Papier und	Altpapierstoff	0,94	0,89	0,89	0,74	0,72	0,71
	Holzstoff - Verfahren	8,46	5,79	4,82	-3,10	-3,48	-3,48
	Papier	1,98	1,92	1,91	6,01	5,30	5,21
	Zellstoff - Verfahren	2,26	0,88	-0,50	13,58	13,60	13,59
Zement	Gewinnung von Kalkstein	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00
	Gipsmahlen	0,16	0,15	0,15	0,00	0,00	0,00
	Kalkmahlen	0,24	0,23	0,22	0,00	0,00	0,00
	Klinker Brennen (halbtrocken)	0,00	0,00	0,00	3,68	3,45	3,42
	Klinker Brennen (trocken)	0,00	0,00	0,00	3,43	3,21	3,17
	Rohstoffaufbereitung	0,09	0,08	0,08	0,00	0,00	0,00
	Zementmahlen	0,24	0,22	0,21	0,00	0,00	0,00

Quelle: Berechnungen von Fraunhofer ISI

Die Entwicklung der Energieintensität, als Energieverbrauch pro Bruttowertschöpfung, nach Wirtschaftszweigen ist in Tabelle 3-59 dargestellt. Im Gegensatz zu dem oben abgebildeten spezifischen Energiebedarf einzelner Produkte enthält die Energieintensität neben Verbesserungen in der Energieeffizienz auch strukturelle Verschiebungen innerhalb der Branchen und in den meisten Branchen eine Entkopplung zwischen physikalischer Produktion und Wertschöpfung.

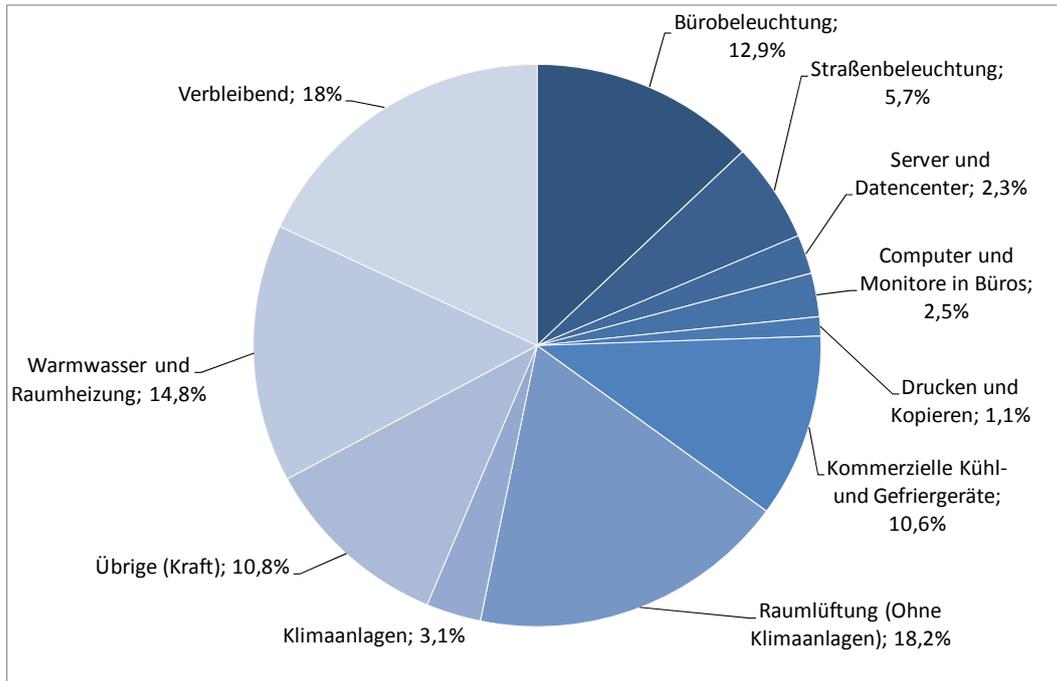
Tabelle 3-59 Entwicklung der Energieintensität in den Wirtschaftszweigen der Industrie (Energieverbrauch pro Bruttowertschöpfung)

Energieträger	Wirtschaftszweig	2005	MMS		SWS	
			2020	2030	2020	2030
		GJ / 1000 Euro				
Strom	Chemische Industrie	3,75	3,14	3,02	2,67	2,46
	Maschinenbau	0,75	0,67	0,65	0,56	0,52
	Nahrungsmittelindustrie	1,46	1,31	1,28	1,09	1,01
	Eisen und Stahl	1,69	1,26	1,12	1,00	0,81
	Nicht-Eisen Metalle	6,75	2,93	1,95	2,59	1,66
	Nicht-metallische Rohstoffe	4,05	3,61	3,52	2,98	2,75
	Sonstige Industriezweige	1,46	1,33	1,29	1,13	1,05
	Papier und Zellstoff	8,00	8,63	9,06	6,75	6,51
Industrie gesamt	1,92	1,47	1,37	1,23	1,08	
Brennstoffe	Chemische Industrie	5,90	5,86	5,81	5,82	5,78
	Maschinenbau	1,31	1,29	1,27	1,28	1,26
	Nahrungsmittelindustrie	5,01	4,95	4,88	4,89	4,81
	Eisen und Stahl	9,33	5,72	4,79	5,44	4,46
	Nicht-Eisen Metalle	4,92	3,19	2,95	3,02	2,70
	Nicht-metallische Rohstoffe	21,43	20,30	19,78	19,96	19,41
	Sonstige Industriezweige	1,14	1,13	1,12	1,12	1,11
	Papier und Zellstoff	19,65	22,76	24,08	21,35	22,74
Industrie gesamt	4,19	3,28	3,00	3,19	2,91	
Endenergie	Chemische Industrie	9,64	9,00	8,83	8,50	8,23
	Maschinenbau	2,05	1,96	1,93	1,84	1,78
	Nahrungsmittelindustrie	6,47	6,26	6,16	5,98	5,82
	Eisen und Stahl	11,02	6,98	5,90	6,45	5,27
	Nicht-Eisen Metalle	11,67	6,12	4,90	5,62	4,36
	Nicht-metallische Rohstoffe	25,48	23,91	23,30	22,94	22,15
	Sonstige Industriezweige	2,60	2,46	2,41	2,25	2,16
	Papier und Zellstoff	27,65	31,39	33,15	28,10	29,25
Industrie gesamt	6,11	4,75	4,37	4,42	4,00	

Quelle: Berechnungen von Fraunhofer ISI

Für den Sektor GHD wurde die Aufteilung des Stromverbrauchs auf einzelne Anwendungen entsprechend Abbildung 3-17 zugrunde gelegt. Die Abschätzung des Stromverbrauchs einzelner Anwendungen basiert vorwiegend auf Informationen zu mittlerem spezifischem Stromverbrauch und Gerätebestand, wie sie in den entsprechenden EU Vorstudien für die Ökodesign Richtlinie ermittelt wurden. Bei Interpretation der Anteile ist zu berücksichtigen, dass sie möglichst homogene und klar abgrenzbare Gerätegruppen darstellen. Für Beleuchtung wurde somit nur Bürobeleuchtung und Straßenbeleuchtung aufgenommen, weitere Lampentypen befinden sich in der Gruppe „Verbleibend“. Diese Einteilung in möglichst homogene Gruppen erlaubt die Anwendung von technischen Einsparoptionen auf die jeweiligen Gruppen, welche sich z.B. zwischen Bürobeleuchtung und Straßenbeleuchtung stark unterscheiden.

Abbildung 3-17: Aufteilung des Stromverbrauchs im Sektor GHD nach Anwendungen (2005)



Quelle: Berechnungen von Fraunhofer ISI, IEF-STE

Die folgende Tabelle zeigt, wie sich die Durchschnittseffizienz der jeweiligen Geräte bzw. Gerätegruppen in MMS und SWS verändert. Hinter der als Index gezeigten Veränderung stehen technische Optionen wie der Austausch von Quecksilberdampflampen durch Natriumdampflampen für die Straßenbeleuchtung, die Nutzung von elektronischen Vorschaltgeräten bei der Büro- und Straßenbeleuchtung, der Einsatz von T5 Leuchtstofflampen in Büros, Nachtdeckung oder Glastür bei Kühlgeräten in Supermärkten oder bedarfsgerechte Steuerung in der Vielzahl der Anwendungen wie Lüftungsanlagen oder Beleuchtung. Insgesamt wurden 50 einzelne technische Einsparmaßnahmen und Maßnahmenbündel für diese Anwendungen berücksichtigt.

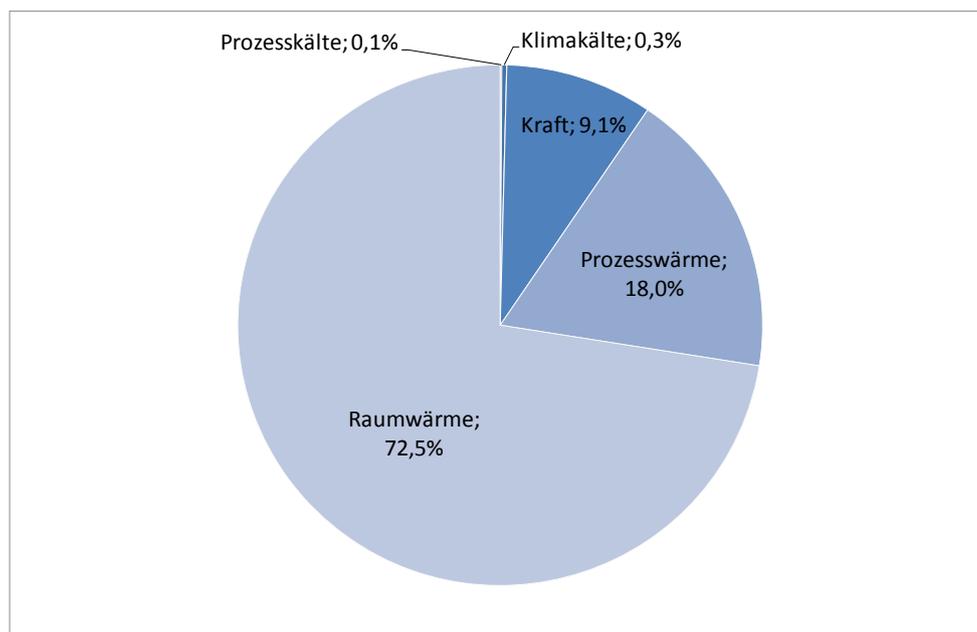
Tabelle 3-60 Resultierende Entwicklung der Energieeffizienz einzelner Anwendungen im Sektor GHD als Index (Strom)

Anwendung	2005	MMS		SWS	
		2020	2030	2020	2030
Klimatisierung	1,00	0,93	0,90	0,73	0,65
Kommerzielle Kühl- und Gefriergeräte	1,00	0,89	0,86	0,59	0,50
Warmwasser und Raumheizung	1,00	1,03	1,17	0,83	0,96
Raumlüftung (Ohne Klimaanlage)	1,00	0,96	0,94	0,79	0,64
Bürobeleuchtung	1,00	0,97	0,93	0,66	0,31
Computer und Monitore in Büros	1,00	0,83	0,83	0,51	0,51
Drucken und Kopieren	1,00	0,92	0,92	0,72	0,72
Übrige (Kraft)	1,00	0,85	0,82	0,63	0,56
Server und Datacenter	1,00	0,94	0,90	0,84	0,67
Straßenbeleuchtung	1,00	0,96	0,94	0,82	0,73
Gesamtergebnis bottom-up	1,00	0,94	0,95	0,72	0,62

Quelle: Berechnungen von Fraunhofer ISI

Der Brennstoffbedarf des Sektors GHD geht vorwiegend auf Raumwärme zurück, welche in diesem Kapitel nicht betrachtet wird. Laut Schlomann et al. (2008) werden weitere 18 % für Prozesswärme benötigt und ca. 9 % zur Krafterzeugung. Die Anteile der Kälteerzeugung sind verschwindend gering. Prozesswärme umfasst Anwendungen wie Waschen und Reinigen, Kochen und Garen, Brennen und Schweißen oder für Schwimmbecken und Gewächshäuser. Die Kraftanwendungen sind vorwiegend in der Landwirtschaft und auf Baustellen.

Abbildung 3-18 Aufteilung des Brennstoffbedarfs im Sektor GHD nach Anwendungen (2005)



Quelle: Schlomann et al. 2008

Die Maßnahmen im MMS wirken weder auf Prozesswärme noch auf Kraftanwendungen im GHD Sektor. Im SWS hingegen zeigt sich eine leichte Verbesserung der Energieeffizienz beider Anwendungen.

*Tabelle 3-61 Resultierende Entwicklung der Energieeffizienz einzelner Anwendungen im Sektor GHD als Index (Brennstoffe)*

Anwendung	2005	MMS		SWS	
		2020	2030	2020	2030
Prozesswärme	1,00	1,00	1,00	0,92	0,87
Kraft	1,00	1,00	0,99	0,96	0,92

Quelle: Berechnungen von Fraunhofer ISI

### 3.2.5.4 Ergebnisse der Projektionen

Die Tabelle 3-62 zeigt den Verlauf der Treibhausgasemissionen für die Industrie im Mit-Maßnahmen- sowie im Strukturwandel-Szenario (die entsprechenden Daten für den GHD-Sektor enthält Tabelle 3-46). In beiden Sektoren stellt CO<sub>2</sub> das mit Abstand bedeutendste Treibhausgas dar. Die Treibhausgase Distickstoffmonoxid (Lachgas) und Methan machen im Jahr 2005 weniger als 1 % der gesamten Treibhausgasemissionen in den Bereichen Industrie und GHD aus.

Die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Mit-Maßnahmen-Szenario ist sowohl in der Industrie wie auch im GHD Sektor kaum von politischen Maßnahmen beeinflusst. Der größte Einfluss auf die Emissionen geht von der Entwicklung der Wertschöpfung sowie der Produktionsmengen aus. Beide steigen im Prognosezeitraum stärker als die Verbesserung der Energieeffizienz.

Einzig der Emissionshandel zeigt hier eine deutliche Wirkung (vgl. mit Abbildung 3-22). Die übrigen MMS-Maßnahmen richten sich vorwiegend auf den Stromverbrauch, aber auch hier ist die Wirkung nicht sehr hoch. Insgesamt ist in der Industrie bis zum Jahr 2020 auch im Mit-Maßnahmen-Szenario ein Anstieg der CO<sub>2</sub>-Emissionen prognostiziert, die danach allerdings deutlich fallen. Im Strukturwandelszenario steigen die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Industrie noch deutlicher, was allerdings auf die bilanzielle Berücksichtigung der KWK-Emissionen im Umwandlungssektor zurückzuführen ist. Industriekraftwerke werden in den Sektoranalysen im Umwandlungssektor bilanziert, haben jedoch im Fall von KWK auch Auswirkungen auf CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Industrie, indem der Zubau von KWK-Anlagen getrennte Wärme- und Dampferzeuger ersetzt, die im Industriesektor bilanziert werden. Ein Zubau von KWK wird somit im Umwandlungssektor die Emissionen erhöhen und in der Industrie vermindern, insgesamt jedoch zu niedrigeren Emissionen als bei getrennter Strom- und Wärmeerzeugung führen. Die im SWS im Vergleich zum MMS geringere KWK-Stromerzeugung in den Kraftwerken des Verarbeitenden Gewerbes führt daher im SWS zu höheren Treibhausgasemissionen in den Wärmeerzeugern der Industrie.

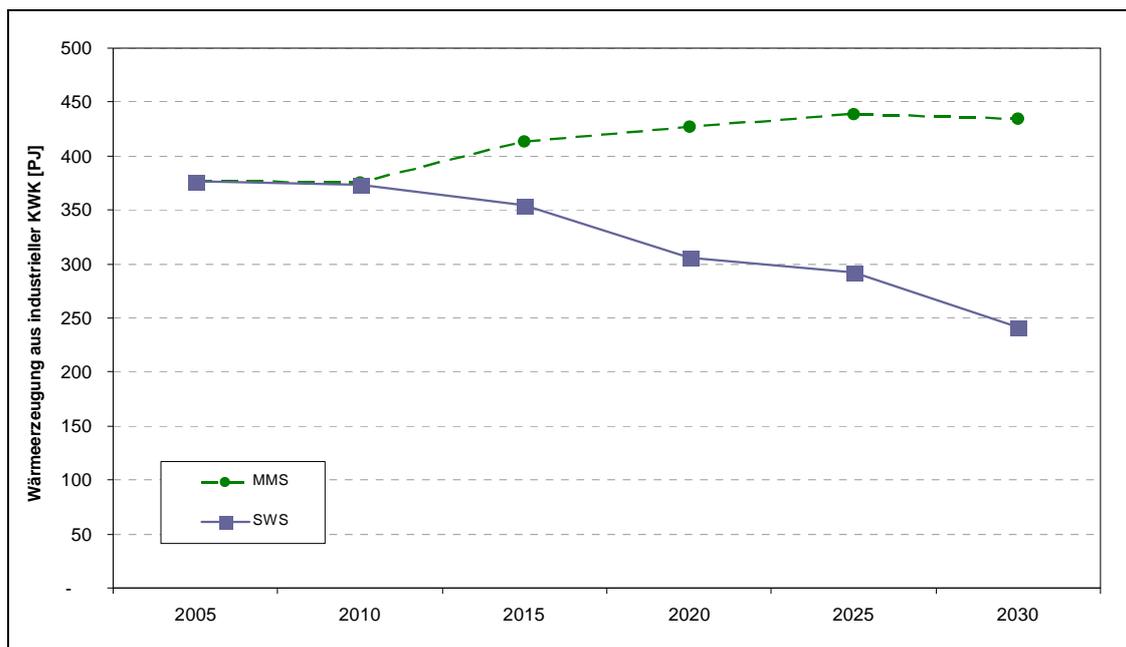
Tabelle 3-62 Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der Industrie

	1990	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	kt CO <sub>2</sub> -Äqu.						
CO <sub>2</sub> -Emissionen							
Entwicklung 1990 - 2005	99.079	81.303					
Mit-Maßnahmen-Szenario			80.946	81.961	83.670	86.035	87.916
Strukturwandel-Szenario			79.062	83.942	89.176	93.562	88.371
CH <sub>4</sub> -Emissionen							
Entwicklung 1990 - 2005	192	92					
Mit-Maßnahmen-Szenario			90	91	91	92	92
Strukturwandel-Szenario			88	90	92	94	96
N <sub>2</sub> O-Emissionen							
Entwicklung 1990 - 2005	935	510					
Mit-Maßnahmen-Szenario			516	522	526	538	544
Strukturwandel-Szenario			507	527	545	564	585
Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O							
Entwicklung 1990 - 2005	100.206	81.905					
Mit-Maßnahmen-Szenario			81.552	82.573	84.287	86.665	88.552
Strukturwandel-Szenario			79.658	84.559	89.813	94.220	89.052
Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O				Veränderung ab 1990 in %			
Mit-Maßnahmen-Szenario			-18,6	-17,6	-15,9	-13,5	-11,6
Strukturwandel-Szenario			-20,5	-15,6	-10,4	-6,0	-11,1
Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O				Veränderung ab 2005 in %			
Mit-Maßnahmen-Szenario			-0,4	0,8	2,9	5,8	8,1
Strukturwandel-Szenario			-2,7	3,2	9,7	15,0	8,7
Anmerkungen: nur energiebedingte Emissionen in der Abgrenzung des NIR, ohne Brennstoffeinsatz in den Industriekraftwerken des Verarbeitenden Gewerbes							

Quelle: UBA (2008 a+b), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI, IEF-STE und Öko-Institut

Die Entwicklung der Wärmeerzeugung aus industriellen KWK-Anlagen ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Der Verlauf steigt im Mit-Maßnahmen-Szenario bis 2020 leicht und bleibt dann auf gleichem Niveau, während im Strukturwandel-Szenario ein gleichmäßiger Rückgang ab 2010 zu verzeichnen ist. Dieser Rückgang ist verantwortlich für die steigenden direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Industrie, da dort separate Heißwasser- und Dampferzeuger zugebaut werden müssen, um die entstehende Lücke in der Wärmebereitstellung auszugleichen. Der Rückgang der KWK im Strukturwandel-Szenario ist auf den stärkeren Ausbau von regenerativen Energien und damit den niedrigeren Anteil der konventionellen Stromerzeugung zurückzuführen. Gleichzeitig wird sowohl ein größerer Teil des Wärmebedarfs über Solarthermie und andere Erneuerbare Energien gedeckt als auch der Wärmebedarf durch zusätzliche Einsparmaßnahmen reduziert. Für eine detaillierte Diskussion des Kraftwerksparks und der KWK wird an Kapitel 3.2.1 zur fossilen Stromerzeugung verwiesen.

Abbildung 3-19 Entwicklung der Wärmeerzeugung aus industrieller KWK



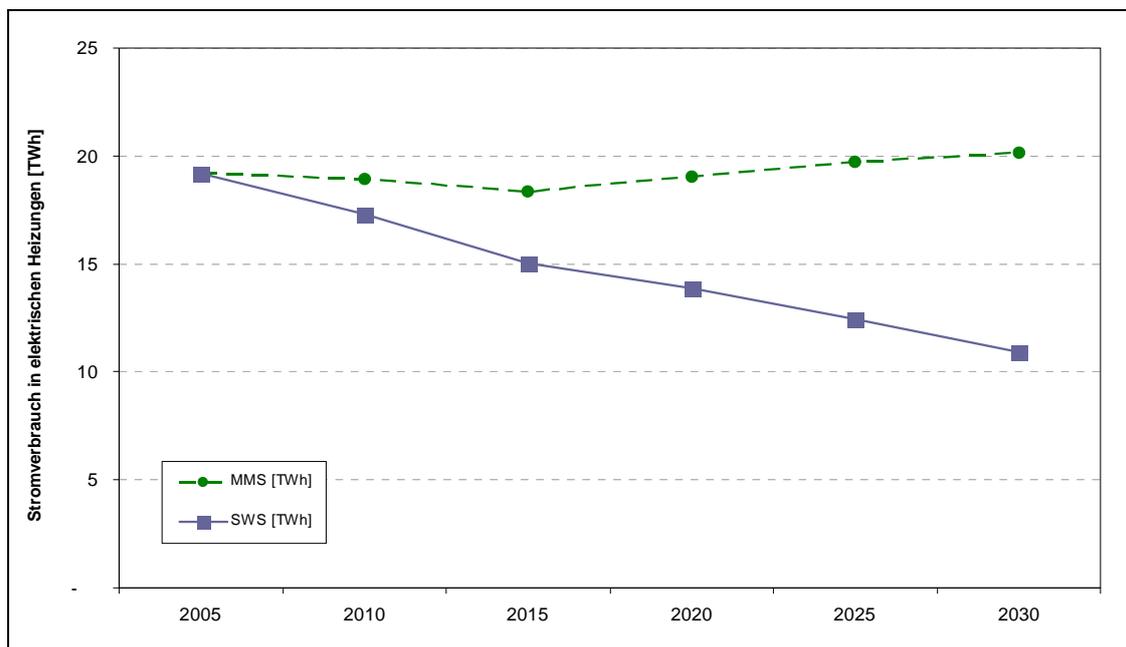
Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI

Im GHD Sektor sind die wichtigsten Determinanten auf den Energieverbrauch (und damit auch auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen) die Entwicklung der Beschäftigtenanzahl sowie die Verbesserung der Energieeffizienz. Eine in etwa konstante Entwicklung der Beschäftigtenzahlen bis 2030 führt zunächst auch zu einem relativ konstantem bzw. durch zusätzliche Effizienzverbesserungen im Mit-Maßnahmen-Szenario zu leicht sinkendem Energieverbrauch sowie leicht sinkenden CO<sub>2</sub> Emissionen. Im Strukturwandel-Szenario sinken sowohl Energieverbrauch als auch CO<sub>2</sub>-Emissionen deutlich stärker, hervorgerufen durch ein umfangreiches Maßnahmenbündel.

Deutliche Auswirkungen auf den Stromverbrauch hat auch die Verbreitung elektrischer Heizungen (Abbildung 3-20). Während der Stromverbrauch in elektrischen Heizungen in GHD im Mit-Maßnahmen-Szenario in etwa konstant bleibt, fällt er im Strukturwandel-Szenario um ca. 43 % auf 11 TWh ab.

Der resultierende Energieverbrauch von Industrie und GHD ist nach Szenario aufgeteilt in Tabelle 3-63 dargestellt. Zu beachten ist, dass der Brennstoffbedarf sowohl von Industriekraftwerken wie auch zur Raumwärmebereitstellung hier nicht bilanziert ist.

Abbildung 3-20 Entwicklung des Stromverbrauchs von elektrischen Heizungen in GHD



Quelle: Berechnungen IEF-STE

Tabelle 3-63 Entwicklung von Brennstoff- und Stromverbrauch in Industrie und GHD

		1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	
		Energieverbrauch									
Industrie - MMS	Brennstoffe	PJ	1.730	1.607	1.567	1.504	1.532	1.580	1.612	1.667	1.700
	Strom	TWh	208	190	208	234	240	245	249	258	265
Industrie - SWS	Brennstoffe	PJ	1.730	1.607	1.567	1.504	1.548	1.633	1.730	1.811	1.915
	Strom	TWh	208	190	208	234	228	221	213	215	217
GHD - MMS	Brennstoffe	PJ	466	220	142	173	176	173	170	165	160
	Strom	TWh	116	124	140	131	133	129	125	120	116
GHD - SWS	Brennstoffe	PJ	466	220	142	173	174	168	160	155	143
	Strom	TWh	116	124	140	131	130	117	105	94	86

Anmerkungen: ohne Brennstoffeinsatz in den Industriekraftwerken des Verarbeitenden Gewerbes; Ohne Brennstoffeinsatz für Raumwärme

Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI

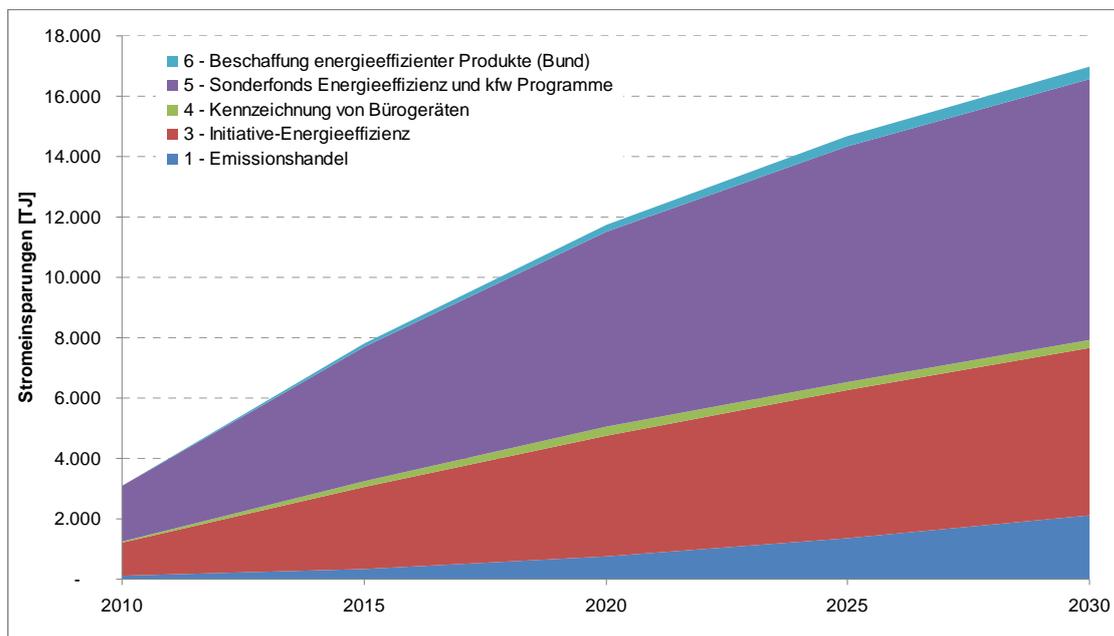
Einen Überblick der quantitativen Wirkungen der einzelnen Maßnahmen zeigen die folgenden Diagramme, wobei die Wirkungen je Maßnahme für Industrie und GHD aufsummiert dargestellt sind. Überschneidungen zwischen den Maßnahmen sind bereits bei der Modellierung berücksichtigt und die dargestellte Wirkung der Maßnahmen ist bereits um die Überschneidungen vermindert.

Im Mit-Maßnahmen-Szenario gehen die höchsten Stromeinsparungen vom „Sonderfonds Energieeffizienz in KMU“ und der „Initiative Energieeffizienz“ der Deutschen

Energieagentur aus. Die Effekte der Beschaffung energieeffizienter Produkte des Bundes sowie die Kennzeichnung von Bürogeräten fallen vergleichsweise niedrig aus. Bei der Beschaffung effizienter Produkte ist dies auf den niedrigen Anteil von Bundesgebäuden am Stromverbrauch des gesamten tertiären Sektors zurückzuführen und bei der Kennzeichnung von Bürogeräten auf den relativ niedrigen Stromverbrauch von IT-Geräten, vor allem aber auf die relativ niedrige Verhaltensänderung, die der Energy Star anstößt. Überraschend wirken zunächst die Stromeinsparungen, die durch den Emissionshandel ausgelöst werden, da der Emissionshandel nur Anreize schafft, direkte CO<sub>2</sub>-Emissionen zu vermindern. Die Stromeinsparungen sind hier durch Maßnahmen entstanden, die sowohl direkte CO<sub>2</sub>-Emissionen, als auch den Stromverbrauch vermindern.

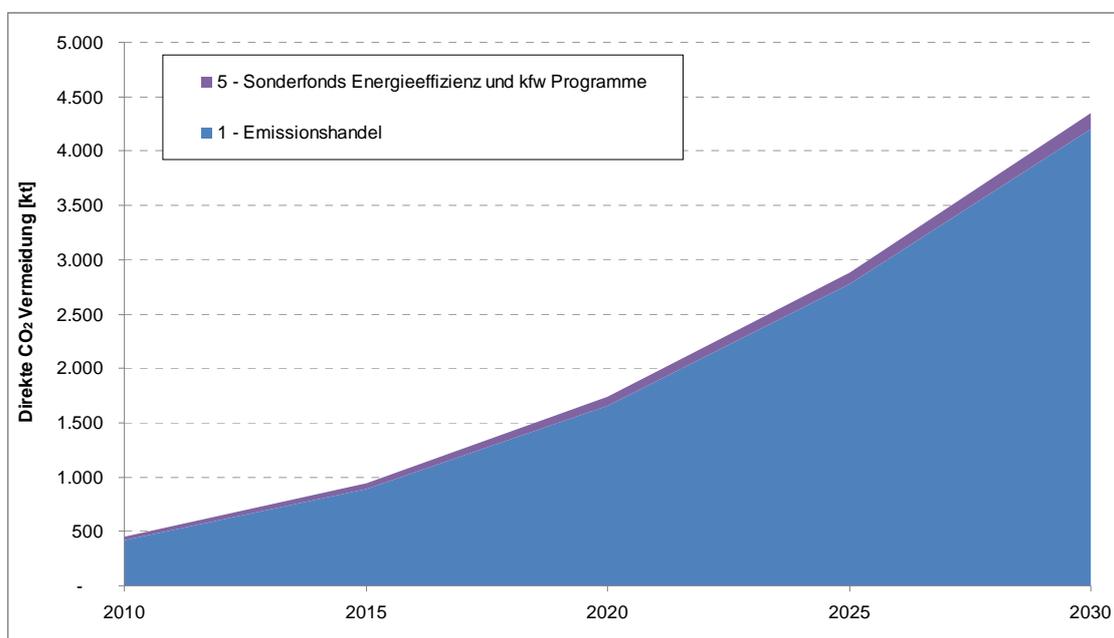
Bei den direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen (Abbildung 3-22) ist im Mit-Maßnahmen-Szenario der Emissionshandel die bedeutendste Maßnahme. Ansonsten werden nur durch den Sonderfonds Energieeffizienz in KMU noch CO<sub>2</sub>-Emissionen vermieden, allerdings auf niedrigerem Niveau. Hier ist zu berücksichtigen, dass die Wirkung des Sonderfonds sich im Jahr 2008 hauptsächlich auf Verbesserungen der Energieeffizienz von Gebäuden bezog, was auch für die Zukunft angenommen wurde. Somit stellen die hier berechneten Stromverbrauchs- und Emissionsminderungen nur ca. 20% der im Rahmen des Sonderfonds umgesetzten Maßnahmen dar.

Abbildung 3-21 Maßnahmenwirkung in Industrie und GHD MMS: Stromeinsparungen



Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI

Abbildung 3-22 Maßnahmenwirkung in Industrie und GHD MMS: direkte CO<sub>2</sub>-Vermeidung



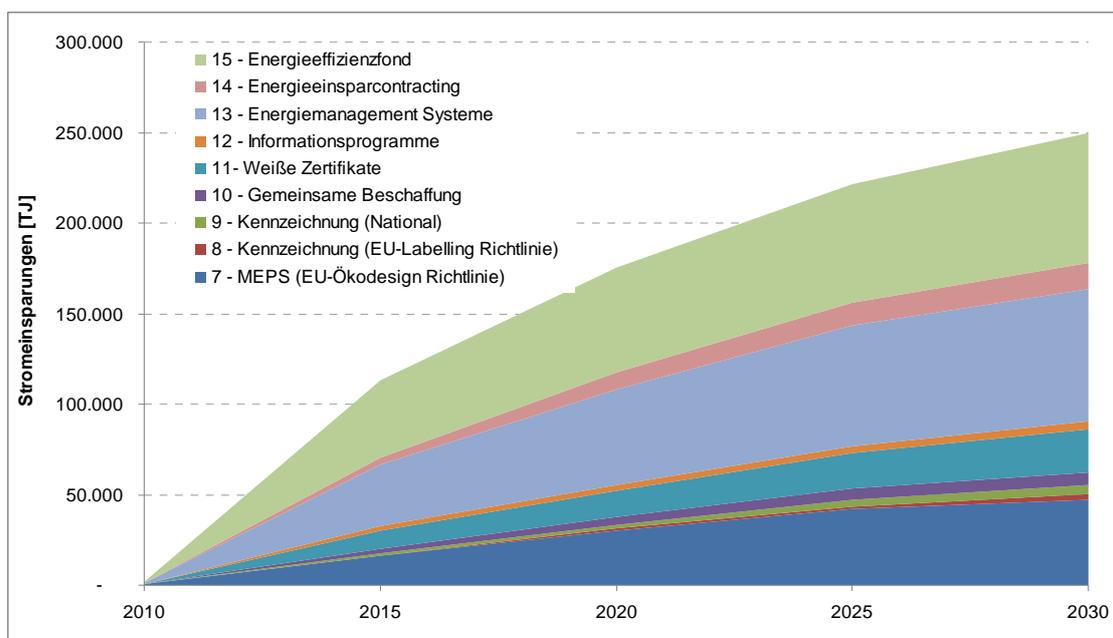
Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI

Im Strukturwandel-Szenario ist die über alle Maßnahmen aggregierte Wirkung zur Minderung des Stromverbrauchs mit 250 PJ (70 TWh) insgesamt ungefähr um den Faktor 15 höher als im Mit-Maßnahmen Szenario. Die bedeutendsten Maßnahmen sind hier

der Energieeffizienzfonds, die Energiemanagement Systeme sowie Mindeststandards. Der Energieeffizienzfonds versucht als eine Art Dachinstrument die Finanzierung von Effizienzmaßnahmen zu bündeln und Transaktionskosten zu senken. Energiemanagementsysteme beinhalten unter anderem die Einführung von ca. 300 Klimatischen, in welchen sich Unternehmen zusammenschließen, um sich gemeinsame Reduktionsziele zu setzen und voneinander zu lernen, sowie den Einsatz intelligenter Messverfahren für den Stromverbrauch. Im Gegensatz zu den vorigen beiden Maßnahmen setzen Mindeststandards nicht beim Endnutzer von Produkten und Geräten an, sondern beim Hersteller, der dadurch Energieeffizienz bereits beim Entwurf und bei der Herstellung von Produkten berücksichtigen muss.

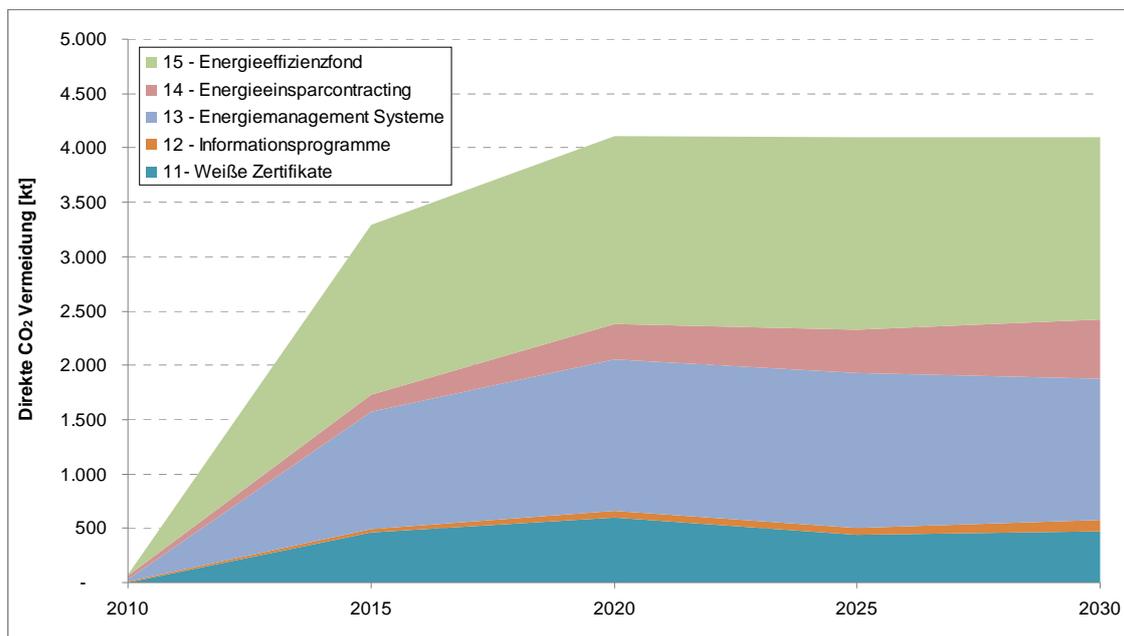
Auch bezüglich der Vermeidung von direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen stellen der Energieeffizienzfonds und die Energiemanagement-Systeme die bedeutendsten Instrumente dar (Abbildung 3-23).

Abbildung 3-23 Maßnahmenwirkungen in Industrie und GHD SWS: Stromeinsparungen



Quelle: Berechnungen von Fraunhofer ISI

Abbildung 3-24 Maßnahmenwirkungen in Industrie und GHD SWS: direkte CO<sub>2</sub> Vermeidung



Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI

Die Wirkungen der Maßnahmen bezüglich des vermiedenen Stromverbrauchs sowie der vermiedenen CO<sub>2</sub>-Emissionen sind in den folgenden Tabellen nach Industrie und GHD getrennt dargestellt.

Tabelle 3-64 Übersicht der Maßnahmen und ihrer Wirkung im GHD Sektor im MMS

Maßnahme/ Umsetzung/ Institution	Typ	Beschreibung/Ziele (Wirkungsbereich)	Umsetzungs- stand (Wirkungs- beginn)	2015	2020	2025	2030
				Direkte Minderungseffekte			
				Mio. t CO <sub>2</sub> -Äqu.			
Sonderfond Energieeffizienz in KMU und kfw Programme	F	Koppelung von bezuschusster Energieberatung mit zinsgünstigen Investitionskrediten für Maßnahmenumsetzung. Richtet sich an KMU	In Kraft seit 2008	0,02	0,03	0,02	0,04
<b>Ungewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen</b>							
<b>Gewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen (ohne Überlagerungseffekte)</b>				0,02	0,03	0,02	0,04
				Effekt für Stromaufkommen			
				TWh			
Initiative- Energieeffizienz	I	Informationsprogramme und -kampagnen zur Senkung von Transaktionskosten, vorwiegend im Bereich Querschnittstechnologien.	In Kraft seit 2005	0,20	0,36	0,49	0,59
Kennzeichnung von Bürogeräten	R	Kennzeichnung von Bürogeräten (Computer, Drucker, etc), die einen festgesetzten Mindeststandard erreichen (Energy Star)	laufend	0,06	0,08	0,08	0,08
Sonderfond Energieeffizienz und kfw Programme	F	Koppelung von bezuschusster Energieberatung mit zinsgünstigen Investitionskrediten für Maßnahmenumsetzung. Richtet sich an KMU	In Kraft seit 2008	0,38	0,64	0,81	0,90
Beschaffung energieeffizienter Produkte (Bund)	V	Beschaffung energieeffizienter Produkte und Dienstleistungen im Bereich des Bundes	In Kraft seit 2008	0,04	0,07	0,09	0,11
<b>Ungewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen</b>							
<b>Gewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen (ohne Überlagerungseffekte)</b>				0,67	1,15	1,46	1,68

Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI

Tabelle 3-65 Übersicht der Maßnahmen und ihrer Wirkung in der Industrie im MMS

Maßnahme/ Umsetzung/ Institution	Typ	Beschreibung/Ziele (Wirkungsbereich)	Umsetzungs- stand (Wirkungs- beginn)	2015	2020	2025	2030
				Direkte Minderungseffekte			
				Mio. t CO <sub>2</sub> -Äqu.			
Emissions- handel	E	Handel mit Emissionszertifikaten (Cap and trade). Betrifft vorwiegend energieintensive Industrie	in Kraft seit 2007	0,89	1,66	2,78	4,20
Sonderfond Energieeffizienz in KMU und kfw Programme	F	Koppelung von bezuschusster Energieberatung mit zinsgünstigen Investitionskrediten für Maßnahmenumsetzung. Richtet sich an KMU	In Kraft seit 2008	0,04	0,06	0,08	0,11
<b>Ungewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen</b>							
<b>Gewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen (ohne Überlagerungseffekte)</b>				0,93	1,72	2,86	4,31
				Effekt für Stromaufkommen			
				TWh			
Emissions- handel	E	Handel mit Emissionszertifikaten (Cap and trade). Betrifft vorwiegend energieintensive Industrie	in Kraft seit 2007	0,1	0,2	0,4	0,6
Initiative- Energieeffizienz	I	Informationsprogramme und -kampagnen zur Senkung von Transaktionskosten, vorwiegend im Bereich Querschnittstechnologien.	In Kraft seit 2005	0,6	0,7	0,9	0,9
Sonderfond Energieeffizienz und kfw Programme	F	Koppelung von bezuschusster Energieberatung mit zinsgünstigen Investitionskrediten für Maßnahmenumsetzung. Richtet sich an KMU	In Kraft seit 2008	0,9	1,2	1,4	1,5
<b>Ungewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen</b>							
<b>Gewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen (ohne Überlagerungseffekte)</b>				1,50	2,11	2,62	3,03

Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI

Tabelle 3-66 Übersicht der Maßnahmen und ihrer Wirkung im GHD Sektor im SWS

Maßnahme/ Umsetzung/ Institution	Typ	Beschreibung/Ziele (Wirkungsbereich)	Umsetzungs- stand (Wirkungs- beginn)	2015	2020	2025	2030
				Direkte Minderungseffekte			
				Mio. t CO <sub>2</sub> -Äqu.			
Informations- programme	I	Informationsprogrammen und -kampagnen sowohl als begleitende Maßnahme für Standards oder Label wie auch als eigenständige Maßnahme. Sie wirken insbesondere auf Querschnittstechniken und sind hier als Erweiterung der Initiative Energieeffizienz der dena zu betrachten	2010	0,03	0,06	0,06	0,10
Energie- management Systeme	V	Durch die Einführung moderner Energiemanagementsysteme lassen sich durch den Einsatz qualifizierter Berater die vorhanden, rentablen Energieeffizienzpotenziale insbesondere in KMU stärker ausschöpfen. Auch Klimatische und intelligente Messverfahren werden hier berücksichtigt	2010	0,08	0,20	0,22	0,35
Energieeinspar- contracting	O	Energieeinsparcontracting ist vorwiegend in Systemen möglich, die nicht direkt an die Produktion eines Unternehmens angebunden sind (z.B. Beleuchtung, Lüftung, Wärmebereitstellung, Druckluft)	2010	0,09	0,17	0,19	0,29
Energie- effizienzfonds	F	Übergeordnetes Instrument, das neben der finanziellen Unterstützung bei Energieeffizienzinvestitionen auch darauf abzielt durch Verbindung mit anderen Instrumenten, die Transaktionskosten zu senken	2010	0,07	0,13	0,13	0,23
<b>Ungewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen</b>							
<b>Gewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen (ohne Überlagerungseffekte)</b>				0,28	0,56	0,60	0,98

Maßnahme/ Umsetzung/ Institution	Typ	Beschreibung/Ziele (Wirkungsbereich)	Umsetzungs- stand (Wirkungs- beginn)	2015	2020	2025	2030
				Effekt für Stromaufkommen			
				TWh			
MEPS (EU- Ökodesign Richtlinie)	R	Mindeststandards für energieverbrauchende Produkte, wie Büro- und Strassenbeleuchtung, Elektromotoren, Ventilatoren, etc	Schritt- weise ~2010- 2012	3,12	5,89	8,07	8,82
Kennzeichnung (EU-Labeling Richtlinie)	R	Bisher nur für Haushaltsgeräte, nach der Revision auch für Geräte in Industrie und Gewerbe. Auch energierelevante Geräte, die selbst keine Energie verbrauchen, sind laut Revision einer möglichen Kennzeichnung unterworfen (z.B. Fenster, Autoreifen)	Schritt- weise ~2010- 2012	0,05	0,13	0,26	0,39
Kennzeichnung (National)	R	Wie EU-Labeling, um mögliche Lücken zu füllen	~2010- 2012	0,25	0,47	0,67	0,87
Gemeinsame Beschaffung	V	Beschaffung energieeffizienter Produkte und Dienstleistungen im Bereich der Länder und Kommunen sowie im privaten Dienstleistungsbereich	2010	0,73	1,26	1,66	2,04
Informations- programme	I	Informationsprogrammen und -kampagnen sowohl als begleitende Maßnahme für Standards oder Label wie auch als eigenständige Maßnahme. Sie wirken insbesondere auf Querschnittstechniken und sind hier als Erweiterung der Initiative Energieeffizienz der dena zu betrachten.	2010	0,26	0,51	0,59	0,57
Energie- management Systeme	V	Durch die Einführung moderner Energiemanagementsysteme lassen sich durch den Einsatz qualifizierter Berater die vorhandenen, rentablen Energieeffizienzpotenziale insbesondere in KMU stärker ausschöpfen. Auch Klimatische und intelligente Messverfahren werden hier berücksichtigt	2010	0,76	1,26	1,56	1,74
Energieeinspar- contracting	O	Energieeinsparcontracting ist vorwiegend in Systemen möglich, die nicht direkt an die Produktion eines Unternehmens angebunden sind (z.B. Beleuchtung, Lüftung, Wärmebereitstellung, Druckluft)	2010	0,57	1,58	2,14	2,62
Energie- effizienzfonds	F	Übergeordnetes Instrument, das neben der finanziellen Unterstützung bei Energieeffizienzinvestitionen auch darauf abzielt durch Verbindung mit anderen Instrumenten, die Transaktionskosten zu senken	2010	1,48	2,47	3,07	3,42
<b>Ungewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen</b>							
<b>Gewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen (ohne Überlagerungseffekte)</b>				7,23	13,56	18,03	20,47

Tabelle 3-67 Übersicht der Maßnahmen und ihrer Wirkung in der Industrie im SWS

Maßnahme/ Umsetzung/ Institution	Typ	Beschreibung/Ziele (Wirkungsbereich)	Umsetzungs- stand (Wirkungs- beginn)	2015	2020	2025	2030
				Direkte Minderungseffekte			
				Mio. t CO <sub>2</sub> -Äqu.			
Weißer Zertifikate	E	Einsparzertifikate schaffen Markt für Energieeffizienzmaßnahmen	2010	0,5	0,6	0,4	0,5
Energie- management Systeme	V	Durch die Einführung moderner Energiemanagementsysteme lassen sich durch den Einsatz qualifizierter Berater die vorhanden, rentablen Energieeffizienzpotenziale insbesondere in KMU stärker ausschöpfen. Auch Klimatische und intelligente Messverfahren werden hier berücksichtigt	2010	1,00	1,19	1,21	0,94
Energieeinspar- contracting	O	Energieeinsparcontracting ist vorwiegend in Systemen möglich, die nicht direkt an die Produktion eines Unternehmens angebunden sind (z.B. Beleuchtung, Lüftung, Wärmebereitstellung, Druckluft)	2010	0,06	0,15	0,21	0,26
Energie- effizienzfonds	F	Übergeordnetes Instrument, das neben der finanziellen Unterstützung bei Energieeffizienzinvestitionen auch darauf abzielt durch Verbindung mit anderen Instrumenten, die Transaktionskosten zu senken	2010	1,48	1,61	1,64	1,45
<b>Ungewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen</b>							
<b>Gewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen (ohne Überlagerungseffekte)</b>				3,01	3,55	3,50	3,12

Maßnahme/ Umsetzung/ Institution	Typ	Beschreibung/Ziele (Wirkungsbereich)	Umsetzungs- stand (Wirkungs- beginn)	2015	2020	2025	2030
				Effekt für Stromaufkommen			
				TWh			
MEPS (EU- Ökodesign Richtlinie)	R	Mindeststandards für energieverbrauchende Produkte, wie Büro- und Strassenbeleuchtung, Elektromotoren, Ventilatoren, etc	Umsetzung schrittweis e 2010- 2012	1,39	2,58	3,58	4,25
Kennzeichnung (EU-Labeling Richtlinie)	R	Bisher nur für Haushaltsgeräte, nach der Revision auch für Geräte in Industrie und Gewerbe. Auch energierelevante Geräte, die selbst keine Energie verbrauchen, sind laut Revision einer möglichen Kennzeichnung unterworfen (z.B. Fenster, Autoreifen)	~2010- 2012	0,01	0,07	0,23	0,48
Kennzeichnung (National)	R	Wie EU-Labeling, um mögliche Lücken zu füllen	~2010- 2012	0,07	0,18	0,33	0,48
Weißze Zertifikate	E	Einsparzertifikate schaffen Markt für Energieeffizienzmaßnahmen	2010	2,83	3,91	5,45	6,67
Informations- programme	I	Informationsprogrammen und -kampagnen sowohl als begleitende Maßnahme für Standards oder Label wie auch als eigenständige Maßnahme. Sie wirken insbesondere auf Querschnittstechniken und sind hier als Erweiterung der Initiative Energieeffizienz der dena zu betrachten.	2010	0,31	0,43	0,52	0,58
Energie- management Systeme	V	Durch die Einführung moderner Energiemanagementsysteme lassen sich durch den Einsatz qualifizierter Berater die vorhanden, rentablen Energieeffizienzpotenziale insbesondere in KMU stärker ausschöpfen. Auch Klimatische und intelligente Messverfahren werden hier berücksichtigt	2010	8,68	13,38	16,95	18,54
Energieeinspar- contracting	O	Energieeinsparcontracting ist vorwiegend in Systemen möglich, die nicht direkt an die Produktion eines Unternehmens angebunden sind (z.B. Beleuchtung, Lüftung, Wärmebereitstellung, Druckluft)	2010	0,54	1,06	1,23	1,33
Energie- effizienzfonds	F	Übergeordnetes Instrument, das neben der finanziellen Unterstützung bei Energieeffizienzinvestitionen auch darauf abzielt durch Verbindung mit anderen Instrumenten, die Transaktionskosten zu senken	2010	10,39	13,62	15,19	16,48
<b>Ungewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen</b>							
<b>Gewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen (ohne Überlagerungseffekte)</b>				24,22	35,23	43,47	48,81

### 3.2.6 Fossile Stromerzeugung

#### 3.2.6.1 Rahmendaten und Maßnahmen

##### 3.2.6.1.1 Mit-Maßnahmen-Szenario

Die Bewertung der Maßnahmen im Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) im Bereich der fossilen Stromerzeugung umfasst alle für den deutschen Stromsektor relevanten Maßnahmen, die zwischen dem Jahr 2000 und 2007 beschlossen beziehungsweise wirksam geworden sind. Diese Effekte werden mit Hilfe des Investitionsmodells ELIAS (Electricity Investment Analysis) des Öko-Instituts mit Rückkopplung eines Kraftwerkseinsatzmodells berechnet (Methodik siehe Abschnitt 3.2.6.2).

Die in diesem Abschnitt dargestellten Maßnahmen betreffen die fossile Stromerzeugung in Kondensations- und Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen. Maßnahmen im Bereich der erneuerbaren Stromerzeugung werden in Abschnitt 3.2.7 dargestellt. Im Rahmen der Modellierung der Effekte des MMS wurden folgende Politiken und Maßnahmen im Bereich der fossilen Stromerzeugung berücksichtigt:

- Abschaffung der Erdgassteuer für die Kondensationsstromerzeugung
- Einführung des EU-Emissionshandelsystems
- KWK-Gesetz 2002 mit Novellierung 2008, KWK-Förderung im EEG
- Entgelte für vermiedene Netznutzung

Darüber hinaus werden in der Quantifizierung der auf die Stromwirtschaft wirksamen Maßnahmen die Effekte der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien (Abschnitt 3.2.7) sowie der Stromnachfrage, die sich aus den Endverbrauchssektoren Verkehr (Abschnitt 3.2.1), Raumwärme und Warmwasser (Abschnitt 3.2.2), Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und Industrie (Abschnitt 3.2.5) und private Haushalte (Abschnitt 3.2.4) sowie dem Stromverbrauch in den Umwandlungssektoren zusammensetzt, berücksichtigt und ausgewiesen.

**Abschaffung der Erdgassteuer:** Die Besteuerung des Brennstoffeinsatzes zur Stromerzeugung sowie zur gekoppelten Erzeugung von Strom und Wärme wurde im Rahmen des Gesetzes zur Neuregelung der Besteuerung von Energieerzeugnissen und zur Änderung des Stromsteuergesetzes vom 15. Juli 2006 (BGBl. I Nr. 33, S. 1534 – 1561) geändert. Danach ist ab dem 1. August 2006 die Nutzung von Erdgas grundsätzlich von der Steuer befreit, wenn es zur Stromerzeugung in ortsfesten Anlagen mit einer elektrischen Nennleistung von mehr als zwei Megawatt oder in ortsfesten KWK-Anlagen mit einem Monats- oder Jahresnutzungsgrad von mindestens 70 % verwendet wird. Im Fall des Monatsnutzungsgrads ist bei motor- oder gasturbinenbetriebenen KWK-Anlagen weitere Voraussetzung, dass deren Jahresnutzungsgrad mindestens 60 % beträgt. Damit ist nun Verstromung von Erdgas sowohl in Kondensation- als auch in KWK-Anlagen von der Steuer befreit (bis Juli 2006 galt dies lediglich für KWK-Anlagen mit den genannten Mindestnutzungsgraden). Die Abschaffung der Erdgassteuer für Kondensationskraftwerke erhöht die Attraktivität der im Vergleich zur Kohleverstromung emissionsarmen Erdgasverstromung.

**Einführung des EU-Emissionshandelssystems:** Der Emissionshandel im Bereich des Kraftwerkssektors wird im Bereich von Neuinvestitionen durch die Grundstruktur der Zuteilungsregeln für Neuanlagen geprägt, wie sie dem Zuteilungsgesetz 2007 (ZuG 2007) sowie dem Nationalen Allokationsplan für die Jahre 2008 bis 2012 (ZuG 2012) entsprechen. Für den Zeitraum bis 2012 ist hier insbesondere die kostenlose Zuteilung auf Basis brennstoffspezifischer Benchmarks für Neuanlagen relevant. Für KWK-Anlagen wird für die Zuteilung auf Grundlage eines Doppelbenchmarks für die Strom- sowie die Wärmeerzeugung vorgenommen. Von 2013 bis 2020 wird von einer vollständigen Versteigerung der Emissionszertifikate für Kondensationskraftwerke ausgegangen. Für KWK-Anlagen erfolgt eine kostenlose Zuteilung für den Wärmeanteil und eine Versteigerung des Stromanteils. Ab 2021 erfolgt eine vollständige Versteigerung der Zertifikate für alle Kraftwerke.

**KWK-Gesetz 2002 mit Novellierung 2008, KWK-Förderung im EEG:** Das Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG) aus dem Jahr 2002 (KWKG 2002) löste das KWK-Vorschaltgesetz vom 12.05.2000 ab, das im Wesentlichen dem Bestandschutz von KWK-Anlagen diente. Mit dem KWKG 2002 sollte über den befristeten Schutz und die Förderung der Modernisierung bestehender Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen) sowie den Ausbau der Stromerzeugung in kleinen KWK-Anlagen und die Markteinführung von Brennstoffzellen ein Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele der Bundesregierung geleistet werden. Seit der Novelle des KWKG im Jahr 2008 werden ebenfalls große Neubaukraftwerke im Bereich der industriellen KWK sowie der Fernwärmeerzeugung gefördert, sofern sie bis 2016 in Betrieb genommen wurden. Insgesamt stellt dieses novellierte KWKG die wichtigste Fördermaßnahme für die Kraft-Wärme-Kopplung dar. Betreiber von KWK-Anlagen erhalten einen Zuschlag für KWK-Strom, wobei sich die Höhe des Zuschlags nach der Anlagenkategorie richtet. Darüber hinaus wird die KWK im Rahmen der erneuerbaren Stromerzeugung gefördert (Abschnitt 3.2.7).

**Entgelte für vermiedene Netznutzung:** Mit dem im Sommer 2005 novellierten Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) sowie der dazugehörigen Strom-Netzentgeltverordnung (StromNEV) wurde erstmals ein gesetzlicher Anspruch auf Erstattung der durch dezentrale Stromeinspeisung vermiedenen Netznutzungsentgelte geschaffen. In einer Netz- oder Umspannebene mit dezentraler Einspeisung reduzieren sich die vom Betreiber dieses Netzes an jenen der vorgelagerten Netzebene zu zahlenden Netzentgelte, da aus diesem Netz weniger entnommen werden muss. Die Differenz zu der Situation ohne dezentrale Einspeisung erhält der dezentrale Einspeiser für seine so erbrachte Netzdienstleistung, sie werden als vermiedene Netzentgelte bezeichnet. Die Berechnung von vermiedenen Netzentgelten erfolgt künftig für jede Netzebene – also auch für die Umspannung. Demnach ist beispielsweise für eine ins Mittelspannungsnetz einspeisende Anlage das Entgelt für die Entnahme aus der Umspannung Hochspannung/Mittelspannung und nicht wie bislang die Entnahme aus der Hochspannung Basis für die Kalkulation der vermiedenen Netznutzung. Die Entgeltberechnung ist in der „Verbändevereinbarung über Kri-

terien zur Bestimmung von Netznutzungsentgelten für elektrische Energie und über Prinzipien der Netznutzung vom 13. Dezember 2001“ (VV II plus) geregelt.

### 3.2.6.1.2 Strukturwandel-Szenario

Im Rahmen des SWS wird von der Festlegung strikterer Klimaschutzziele ausgegangen. Im SWS wird unterstellt, dass es im Rahmen der Verhandlungen um ein Nachfolgeabkommen für das Kyoto-Protokoll, die 2009 in Kopenhagen abgeschlossen werden sollen, sowie in entsprechenden EU-weiten Abkommen zu einer Verschärfung der Klimaschutzziele von 20% auf 30% (gegenüber 1990) kommt. Die (weltweite) Verknappung von CO<sub>2</sub>-Emissionsrechten wird im Rahmen der Modellierung durch steigende CO<sub>2</sub>-Preise abgebildet.

Zur Berücksichtigung von strikteren Klimaschutzzielen wird im Rahmen der Modellierung des SWS für den Emissionshandel davon ausgegangen, dass wie im MMS die Emissionszertifikate für Kondensationskraftwerke grundsätzlich vollständig auktioniert werden, während der Wärmeanteil von KWK-Anlagen bis 2020 kostenlos zugeteilt wird.

Darüber hinaus werden im Rahmen des SWS zahlreiche Maßnahmen zur Förderung der KWK-Stromerzeugung getroffen:

- KWKG 2017: Die Förderung von neuen (großen und kleinen) KWK-Anlagen wie im KWKG 2008 vorgesehen wird über das Jahr 2016 hinaus verlängert. Dabei wird die Bonusstruktur derart modifiziert, dass der gesamte (abdiskontierte) KWK-Zuschlag für neue KWK-Anlagen dem KWKG 2008 entspricht, der Zuschlag jedoch auf die gesamte Lebensdauer der jeweiligen KWK-Anlage gestreckt wird. Damit sind die nominalen Zuschlagssätze geringer als im KWKG 2008, aufgrund der verlängerten Bezugsdauer des Zuschlags bleibt die gesamte Förderung jedoch gleich. Darüber hinaus hat diese Modifizierung den Vorteil, dass der KWK-Bonus sich positiv auf die Einlastung von KWK-Anlagen auf dem Strommarkt auswirkt, da für jede zusätzliche Einheit KWK-Stromerzeugung der Bonus gewährt wird und sich damit kompetitive Vorteile beim Anlagenbetrieb gegenüber nicht-KWK-Anlagen ergeben.
- Erhöhung der Wärmegutschrift: Zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von KWK-Anlagen werden die Wärmeverbraucher, die nicht dem Emissionshandel unterliegen, einem CO<sub>2</sub>-Preissignal ausgesetzt, das dem Preissignal des jetzigen Emissionshandels entspricht. Dies kann durch Einbeziehung in den Emissionshandel oder durch eine Steuer entstehen. Dadurch erhöht sich der anlegbare Wärmepreis um die Zertifikatskosten, die dem CO<sub>2</sub>-Benchmark für Wärmeerzeuger entsprechen.
- Förderung von Mikro-BHKW: Zur Förderung von Mikro-BHKW werden Investitionskostenzuschüsse gewährt, die solche Anlagen wirtschaftlich attraktiv im Vergleich zu konventionellen (neuen) Heizkesseln macht. Die Zuschüsse sollen derart ausgestaltet werden, dass die Nutzung des jährlichen Potenzials für

solche Anlagen 50% im Jahr 2020 beträgt. Dies entspricht einem jährlichen Zubau solcher Anlagen von 350 MW<sub>el</sub> ab 2020.

Neben den veränderten Rahmenbedingungen des EU-Emissionshandelssystems und der KWK-Förderung führt eine vermehrte Stromeinsparung in den Endverbrauchssektoren sowie eine verstärkte Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien (jeweils als Folge von zusätzlichen Maßnahmen in den entsprechenden Sektoren) zu veränderten Einsatzbedingungen im Bereich fossiler Kraftwerke. Dies führt zum einen zu direkten Emissionsminderungen beim Kraftwerksbetrieb. Darüber hinaus beeinflussen die Einsatzbedingungen auch generell die langfristige Investitionsentscheidung. Diese so genannten Merit-Order-Effekte werden zusätzlich quantifiziert.

In einer Sensitivitätsanalyse wird außerdem von einer Förderung der CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Einlagerung ausgegangen (Anhang A3). Generell wird davon ausgegangen, dass CCS-Kraftwerke für die CO<sub>2</sub>-Menge, die eingelagert wird, keine Emissionsberechtigungen erwerben müssen. Für die erste Generation der CCS-Kraftwerke (2020) werden außerdem für 5 Jahre Subventionen gewährt. Der Umfang dieser Subventionen entspricht 50 % der in den ersten fünf Jahren eingelagerten CO<sub>2</sub>-Menge multipliziert mit 50 % des CO<sub>2</sub>-Preises. Die Sensitivitätsrechnungen werden zum einen für den Fall durchgeführt, dass CCS sich vollständig marktgetrieben gegen andere Kraftwerksoptionen ohne CCS durchsetzen muss. Zum anderen wird von einer CCS-Pflicht für Kohle-Kondensationskraftwerke ausgegangen, die gegen andere fossile Kraftwerke (Erdgas-Kraftwerke und KWK-Anlagen) konkurrieren. Für Gichtgas-Kraftwerke wird durch eine Kombination aus Emissionshandelseffekten, Förderpolitik und Regulierung davon ausgegangen, dass neue Kraftwerke ab 2020 mit CCS ausgerüstet werden.

Es wird davon ausgegangen, dass die Bundesregierung begleitende Maßnahmen zum Ausbau der Infrastruktur ergreift. Dies betrifft insbesondere den Netzausbau zur Einspeisung und Übertragung der aus erneuerbaren Energien produzierten Strommengen.

### 3.2.6.2 Methodik

Die Modellierung der zu erwartenden Entwicklung des Kraftwerksparks wird mit Hilfe des Modells ELIAS (Electricity Investment Analysis) sowie einem Kraftwerkseinsatzmodell des Öko-Instituts vorgenommen. Ausgangsjahr der Modellierung ist das Jahr 2005. Im Modell wird der Investitionsbedarf im Stromsektor ermittelt, der sich aus dem Ausscheiden alter Kraftwerke aus dem Kraftwerkspark sowie der Entwicklung der Stromerzeugung ergibt. Im nächsten Schritt wird auf Grundlage einer Investitionsrechnung modelliert, wie der Investitionsbedarf durch den Zubau neuer Kraftwerke gedeckt wird.

Der zukünftige Investitionsbedarf hängt wesentlich von der Altersstruktur des bestehenden Kraftwerksparks ab. Dem Modell ELIAS liegt die Platts-Kraftwerksdatenbank (2007) zugrunde, in der für jedes Kraftwerk unter anderem das Inbetriebnahmedatum hinterlegt ist. Auf Grundlage dieser Datenbank wird die derzeitige Altersstruktur des Kraftwerksparks in Deutschland ermittelt. Bei Erreichen der angenommenen techni-

schen Lebensdauer eines Kraftwerks werden die entsprechenden Stromerzeugungskapazitäten außer Betrieb genommen. Der resultierende Investitionsbedarf wird anhand der durchschnittlichen Stromerzeugung der außer Betrieb gegangenen Bestandskraftwerke und der prognostizierten Stromerzeugung ermittelt. Liegen für einzelne Technologien detaillierte Informationen über den Zeitpunkt der Schließung von Kraftwerken vor, wie beispielsweise bei Kernkraftwerken in Deutschland (Atomausstieg), kann die Stilllegungskurve der Erzeugungskapazitäten außerhalb des Modells ermittelt und in ELIAS eingelesen werden.

Dem modellierten Zubau liegt die Annahme zu Grunde, dass die Wirtschaftssubjekte in die Technologien mit den niedrigsten finanzmathematischen Durchschnittskosten investieren. Die finanzmathematischen Durchschnittskosten setzen sich aus Investitionskosten sowie fixen und variablen Betriebskosten zusammen. Durch eine Analyse der Zahlungsflüsse und -zeitpunkte der Kosten über die Abschreibungsdauer werden die finanzmathematischen Durchschnittskosten bezogen auf die Stromerzeugung (€/MWh) ermittelt. Ebenso können die Kosten bzw. Erträge, die aus politischen Rahmenbedingungen wie dem Emissionshandel, dem Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz oder einer Brennstoffsteuer resultieren, abgebildet und in die Kostenrechnung aufgenommen werden. Da KWK-Anlagen nicht nur Strom, sondern gleichzeitig auch Wärme produzieren, würde eine reine stromseitige Betrachtung der Stromgestehungskosten zu einer Überschätzung der Kosten führen. Um die Wärmeproduktion im Modell zu berücksichtigen, erhalten KWK-Anlagen eine Gutschrift für die erzeugte Wärme. Darüber hinaus können für dezentrale Erzeugungsanlagen Erlöse für vermiedene Netznutzung berücksichtigt werden. Zentral für die Berechnung der finanzmathematischen Durchschnittskosten ist neben den genannten Kosten- und Erlöspositionen die Anzahl der Betriebsstunden des jeweiligen Kraftwerks pro Jahr. Die Betriebsstunden werden im Kraftwerkseinsatzmodell berechnet und an die Investitionsrechnung zurückgespeist. Damit geht der zu erwartende Kraftwerkseinsatz direkt in die Wirtschaftlichkeitsberechnung der Investition ein und berücksichtigt damit die unterschiedlichen Lastbereiche, die durch einzelne Kraftwerke abgedeckt werden.<sup>20</sup>

Da unter Realbedingungen nicht davon ausgegangen werden kann, dass Investitionsentscheidungen allein aus eng gefassten Wirtschaftlichkeitsüberlegungen getroffen und von Akteuren getragen werden, die über vollständige Information verfügen, sowie um der Unsicherheit der Kostenprojektion und -erwartungen Rechnung zu tragen, erfolgen die Investitionsentscheidungen in ELIAS auf der Grundlage einer Unschärfefunktion. In Abhängigkeit von den in der Investitionsplanungsrechnung ermittelten Kostendaten werden auch Kraftwerke errichtet, die nicht die wirtschaftlich attraktivste Variante darstellen. Der Anteil an Investitionen in „suboptimale“ Kraftwerke hängt von der Kostendifferenz des jeweiligen Kraftwerktyps zu der nach der Investitionsrechnung wirtschaftlich attraktivsten Option ab, d.h. je kleiner der Unterschied ist, desto mehr Kraftwerke dieses Typs werden zugebaut.

---

<sup>20</sup> Beispielsweise sind die Grenzkosten von Gasturbinen, die typischerweise Spitzenlastkraftwerke sind, sehr hoch, weshalb sich nur sehr geringe jährliche Benutzungsstunden ergeben.

Bestimmte Kraftwerkstechnologien können nicht unbegrenzt zugebaut werden, da ihr Potenzial durch gegebene Rahmenbedingungen begrenzt ist. Dies ist zum Beispiel beim Ausbau der Wasserkraft oder der Braunkohleverstromung der Fall. Für solche Technologien können im Modell obere Begrenzungen eingegeben werden. Ebenso kann ein Mindestzubau von Technologien festgelegt werden. Dies kann beispielsweise für die Erneuerbaren Energien vorgesehen werden, wenn deren Zubau nicht kostengetrieben erfolgt, sondern durch staatliche Ausbauziele bestimmt wird.

Bei der Modellierung des Zubaus werden zunächst diejenigen Kraftwerke zugebaut, für die ein Mindestzubau vorgegeben ist. Die verbleibende Zubaulücke wird durch diejenigen Kraftwerke gedeckt, die von ELIAS über die Berechnung der finanzmathematischen Durchschnittskosten als attraktive Neuinvestitionen eingestuft werden. Ein vorgegebener Zubau von erneuerbaren Energien oder eine verstärkte Stromeinsparung führt damit zu einem deutlich verminderten Zubau fossiler Kraftwerke. Sofern in einem Jahr bei voller Auslastung der Kraftwerkskapazitäten ein Überangebot an Strom produziert wird, können Bestandskraftwerke nicht mehr in vollem Umfang betrieben werden; es kommt zu einer Verringerung der Benutzungsstunden von Altkraftwerken und damit zu einer geringeren Stromerzeugung in diesen Anlagen. Um die fluktuierende Erzeugung durch erneuerbare Energien (insbesondere Windenergie und Photovoltaik) auszugleichen und zu jedem Zeitpunkt die Netzlast bedienen zu können, werden in ELIAS außerdem zusätzliche Kapazitäten an Kraftwerken mit sehr geringen Anfahrzeiten (beispielsweise Gasturbinen) zugebaut.

Das Modell ELIAS hat zum Ziel, anhand eines Kostenvergleichs verschiedener Stromerzeugungstechnologien zum einen den zukünftigen Technologiemark des Kraftwerksparks abzubilden. Zum anderen ermöglicht es eine Bewertung politischer Instrumente, die auf den Technologiemark Einfluss nehmen. Damit kann ein Vergleich sowie eine Evaluierung verschiedener, detaillierter Ausgestaltungen, beispielsweise des Emissionshandels, vorgenommen werden. Möglich ist sowohl eine Bewertung der Entwicklung der Erzeugungskapazitäten als auch der Stromerzeugung nach Technologien. Darüber hinaus können Aussagen über die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Kraftwerksparks gemacht werden.

Es ist anzumerken, dass ELIAS kein Marktmodell ist, das einzelne Marktakteure oder strategisches Investitionsverhalten abbildet; eine preisgetriebene Verdrängung bestehender Kraftwerke findet nicht statt.

Neben den oben genannten Parametern ist die jährliche Benutzungsdauer ein zentrales Entscheidungskriterium bei der Investition in neue Kraftwerke. Die Anzahl der Stunden, die ein Kraftwerk im Jahr betrieben wird, hängt davon, wie hoch die Lastnachfrage der Verbraucher ist sowie davon, an welcher Stelle der Einsatzreihenfolge (*Merit Order*) sich das Kraftwerk befindet. Die Einsatzreihenfolge von Kraftwerken orientiert sich an den so genannten kurzfristigen Grenzkosten, die sich aus Brennstoffkosten, variablen Betriebskosten sowie den Kosten für den Erwerb von CO<sub>2</sub>-Zertifikaten zusammensetzen. Je geringer die Grenzkosten eines Kraftwerks sind, desto häufiger wird es im Jahr eingesetzt. Bei geringen CO<sub>2</sub>-Preisen sind hier vor allem die Brennstoffkosten ausschlaggebend. Bei steigenden CO<sub>2</sub>-Preisen verbessern sich

Kraftwerke mit geringen CO<sub>2</sub>-Emissionen (Gaskraftwerke) in der Einsatzreihenfolge gegenüber Kraftwerken mit hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen (Kohlekraftwerke). Neben den Grenzkosten eines Kraftwerks ist für den Kraftwerksbetrieb relevant, wie sich die Restlast im Szenarienvorlauf verändert. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn sich Vorrangkraftwerke im System befinden (beispielsweise KWK-Anlagen) oder Kraftwerke mit sehr geringen Grenzkosten hinzukommen (beispielsweise erneuerbare Energien). Dementsprechend sinkt die Restlast, die mit den verbleibenden konventionellen Kraftwerken bedient werden muss. Als Folge dessen sinken die jährlichen Benutzungsstunden der Kraftwerke, womit sich wiederum deren Wirtschaftlichkeit verändert. ELIAS berücksichtigt diese Effekte, indem es den modellierten Zubau an neuen Kraftwerken in das Kraftwerkseinsatzmodell des Öko-Instituts (MOM – Merit-Order-Modell) speist. In diesem Modell wird ermittelt, wie viele Betriebsstunden sich für das jeweilige Kraftwerk ergeben. In einer Iteration werden die Benutzungsstunden in das Investitionsmodell ELIAS zurückgespeist, womit erneut die Wirtschaftlichkeit von Anlagen und damit der entsprechende Zubau im Szenarienhorizont ermittelt wird. Sofern Kraftwerke im Szenarienhorizont beispielsweise durch eine verstärkte Einspeisung erneuerbarer Energien stark sinkende Benutzungsstunden aufweisen, so werden diese vor Ende der technischen Lebensdauer außer Betrieb genommen.

Die erneuerbare Stromerzeugung im Rahmen der Modellierung mit ELIAS wird als feste Entwicklung vorgegeben. Auswirkungen auf die fossile Stromerzeugung werden insofern berücksichtigt, als dass eine unterschiedlich starke Entwicklung der regenerativen Stromerzeugung die Zubaulücke im fossilen Kraftwerkspark und damit künftige CO<sub>2</sub>-Emissionen bestimmt und außerdem die jährlichen Benutzungsstunden von Kraftwerken (und damit deren Wirtschaftlichkeit) beeinflusst. Gleichermaßen beeinflusst eine sich durch Politiken und Maßnahmen ändernde Stromnachfrage den Bedarf an neuen Kraftwerken.

### **3.2.6.3 Annahmen und Parameter**

Im Folgenden werden wesentliche von ELIAS verwendete Modellannahmen beschrieben, sofern sie über die übergreifenden Rahmendaten in Kapitel 2 hinausgehen.

#### **Energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen**

Die entscheidenden Parameter für die weitere Entwicklung des Kraftwerksbestandes sind die technische Lebensdauer der bestehenden Kraftwerke, die Auslastung der verschiedenen Kraftwerkstypen sowie das Auslaufen der Kernenergie-Nutzung, das in Deutschland gesetzlich vorgegeben ist.

Die Lebensdauer legt den Stilllegungszeitpunkt der Kraftwerke fest. Es handelt sich dabei um die technische Lebensdauer der Kraftwerke. Dabei können Investitionen, die die Lebensdauer verlängern, berücksichtigt werden, sofern sie einen signifikanten Teil der Kraftwerke eines Typs betreffen. So wurde beispielsweise die Lebensdauer von Braunkohle- und Steinkohlekraftwerken mit 50 Jahren angegeben, da im Zuge der Ein-

führung der Großfeuerungsanlagenverordnung (13. BImSchV) in den 80er und 90er Jahren viele Kraftwerke Nachrüstungsmaßnahmen unterzogen wurden. Strategische Stilllegungen oder ein Betrieb von Kraftwerken über die technische Lebensdauer hinaus werden vom Modell nicht berücksichtigt. Tabelle 3-68 zeigt die bei der Modellierung verwendeten Lebensdauern.

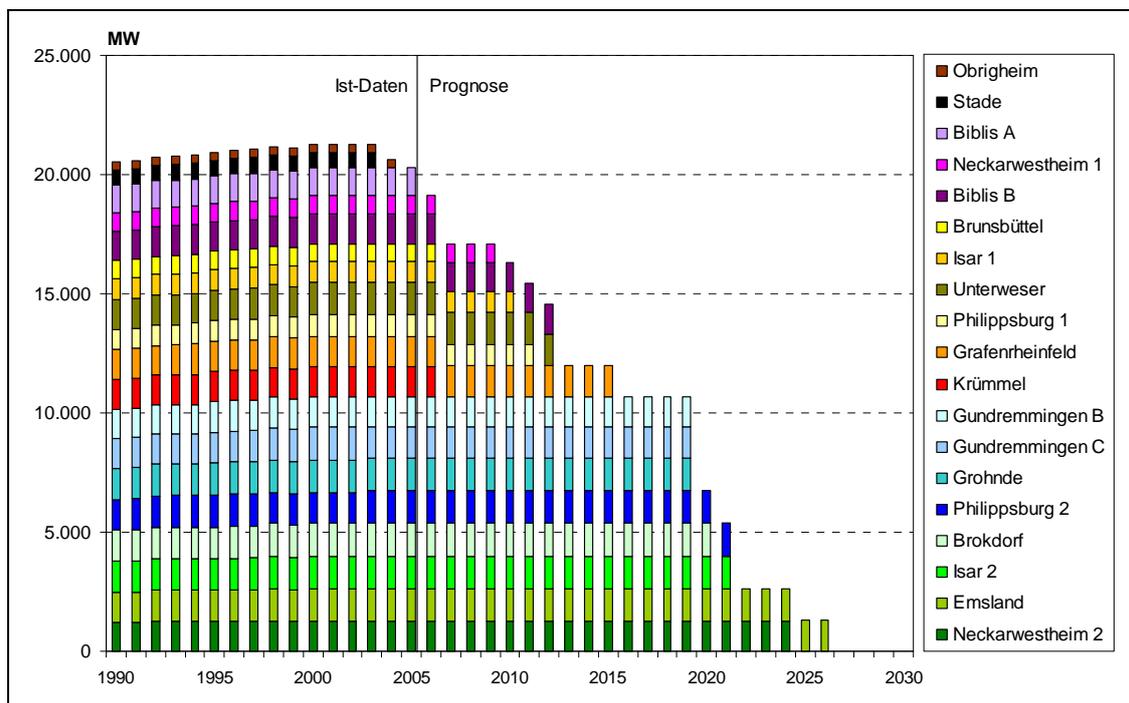
*Tabelle 3-68 Technische Lebensdauer der Bestandskraftwerke*

<b>Kraftwerkstyp</b>	<b>Lebensdauer der Kraftwerke in Jahren</b>
Steinkohle (Kondensation)	45
Steinkohle (KWK)	50
Braunkohle (Kondensation)	45
Braunkohle (KWK)	50
Erdgas (Kondensation)	40
Erdgas (KWK)	50
Kernenergie	nach AtG 2002
Öl	35
Regenerative (Wind, Geothermie, Photovoltaik)	20
Abfall und Biomasse	35
Wasser	100
Sonstige	30

Quelle: ELIAS, Öko-Institut.

Die Stilllegung der Kernkraftwerke erfolgt für Deutschland nicht nach einer bestimmten Lebensdauer, sondern anhand einer extern ermittelten Stilllegungskurve. Dabei wurden die Restlaufzeiten reaktorscharf anhand der im Atomgesetz (AtG) festgelegten Reststrommengen sowie der genehmigten und absehbaren Übertragungen von Reststrommengen und einer geschätzten mittleren Jahresproduktion ermittelt (Abbildung 3-25).

Abbildung 3-25 Restlaufzeiten der deutschen Kernkraftwerke (verfügbare Engpassleistung zum Jahresende)



Quellen: AtG 2002, Annahmen und Berechnungen des Öko-Instituts.

Anhand der installierten Leistung und der Stromerzeugung je Brennstoff wurde für die im Jahr 2005 bestehenden Kraftwerke die Jahresauslastung (gemessen in Volllaststunden) für jeden Kraftwerkstyp ermittelt. Diese Benutzungsstunden können im Szenarienhorizont bis 2020 sinken, beispielsweise sofern eine verstärkte Einspeisung von erneuerbaren Energien in das Stromsystem stattfindet. Dies bedeutet, dass die Stromerzeugung aus Bestandskraftwerken im Zeitverlauf bis 2020 sowohl dadurch sinkt, dass alte Kraftwerke außer Betrieb genommen werden als auch dadurch, dass die noch bestehenden Kraftwerke immer weniger Stunden im Jahr betrieben werden, da in zunehmendem Maße Vorrangstrom aus erneuerbaren Energien im System zur Verfügung steht.

### Zubauoptionen

Nach Ermittlung des Investitionsbedarfs pro Lastbereich, der sich aus dem Ausscheiden alter Kraftwerke sowie aus der Entwicklung der Stromnachfrage ergibt, wird dieser im Modell durch den Zubau neuer Kraftwerke gedeckt. Dabei werden zunächst die Technologien mit einem Mindestzubau berücksichtigt und die verbleibende Lücke in Abhängigkeit von der Höhe der jeweiligen finanzmathematischen Durchschnittskosten der einzelnen Kraftwerkstypen geschlossen. Hierfür werden im Modell die finanzmathematischen Durchschnittskosten von verschiedenen neuen Kondensationskraftwerken und neuen Heizkraftwerken (KWK-Anlagen) ermittelt. In die Berechnung der finanzmathematischen Durchschnittskosten fließen die Investitionskosten mit Bauherreneigen-

leistung, die Zinsen während der Bauzeit, die fixen Betriebskosten (Personalkosten, Wartungs- und Instandhaltungskosten, Versicherungskosten) sowie die variablen Betriebskosten<sup>21</sup> ein. Tabelle 3-69 und Tabelle 3-70 zeigen ausgewählte technische Daten und Kostenpositionen in der Übersicht. Weitere Kosten bzw. Erträge ergeben sich aus den politischen Maßnahmen im Kraftwerksbereich sowie den Brennstoff- und CO<sub>2</sub>-Preisen (Abschnitt 2.2). Alle Kosten- und Preisdaten werden in realen Preisen (€<sub>2000</sub>) angegeben.

Tabelle 3-69 Ausgewählte Daten der Neubaukraftwerke (Kondensationskraftwerke)

	Einheit	Kondensationskraftwerke				Gasturbine
		Steinkohle	Braunkohle	Gas GuD 800MW	Gas GuD 400MW	
Elektrische Nettoleistung	MW <sub>el</sub>	750	950	800	400	250
Thermische Nettoleistung	MW <sub>th</sub>	-	-	-	-	-
Jahresnutzungsdauer	h/a	wird im Modell bestimmt				
Jahresemissionen <sup>a</sup>	t CO <sub>2</sub> /GWh <sub>el</sub>	745	958	349	349	554
Investitionskosten <sup>b</sup>	€/kWh <sub>el</sub>	1.260	1.440	660	720	396
Abschreibungszeitraum	Jahre	30	30	20	20	20
Versicherungskosten <sup>c</sup>	%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%
Personalstärke	Cap	100	120	50	30	18
Wartungs- und Instandhaltungskosten <sup>b</sup>	€/(kW <sub>el</sub> *a)	26	36	11	11	6
Variable Betriebskosten <sup>b</sup>	€/MWh <sub>el</sub>	2,0	2,3	0,5	0,5	0,5

<sup>a</sup> Die Jahresemissionen beziehen sich auf das Jahr 2010. Bei den Kondensationskraftwerken wird zukünftig von einer rückläufigen Entwicklung der Jahresemissionen aufgrund der Erhöhung des elektrischen Wirkungsgrades ausgegangen.  
<sup>b</sup> Die Angaben beziehen sich auf das Jahr 2010.  
<sup>c</sup> Die Versicherungskosten sind als Anteil der Investitionskosten angegeben.

Quelle: ELIAS, RWI/Prognos 2005, Öko-Institut.

Die technischen Daten der CCS-Kraftwerke für die Sensitivitätsrechnung basieren prinzipiell auf den Daten der Steinkohle-, Braunkohle- und Erdgas-GuD (800 MW)-Kondensationskraftwerke und wurden auf Basis von Angaben in der Literatur (WI et al. 2007, IEA 2008, McKinsey 2008) modifiziert bzw. ergänzt. So wird für Kohle-CCS-Kraftwerke wird von um 1.000 €/kW<sub>el</sub> und für Erdgas-GuD-CCS-Anlagen um 600 €/kW<sub>el</sub> höheren Investitionskosten im Vergleich zu den Kraftwerken ohne CCS ausgegangen. Der Wirkungsgradverlust beträgt 9 Prozentpunkte und der Abscheidegrad 90 %. Personalstärke, Wartungs- und Instandhaltungskosten sowie variablen Betriebskosten erhöhen sich im Vergleich zu den Kraftwerken ohne CCS im Verhältnis der Investitionskosten mit und ohne CCS.

<sup>21</sup> Die variablen Kosten schließen beispielsweise die Kosten der Rauchgasentschwefelung sowie verwendete Hilfsstoffe ein. Brennstoff- und CO<sub>2</sub>-Kosten werden dagegen als eigenständige Kostenpositionen geführt.

Tabelle 3-70 Ausgewählte Daten der Neubaukraftwerke (KWK-Anlagen)

	Einheit	KWK-Anlagen				
		Gas BHKW	Gas GuD 30MW	Gas GuD 100MW	Gas GuD 407MW	Steinkohle
Elektrische Nettoleistung	MW <sub>el</sub>	2	30	100	407	320
Thermische Nettoleistung	MW <sub>th</sub>	2,6	40	110	426	257
Jahresnutzungsdauer		wird im Modell bestimmt				
Jahresemissionen <sup>a</sup>	t CO <sub>2</sub> /GWh <sub>el</sub>	572	490	441	410	796
Investitionskosten <sup>b</sup>	€/kWh <sub>el</sub>	1.080	1.200	780	660	1.680
Abschreibungszeitraum	Jahre	15	15	15	15	15
Versicherungskosten <sup>c</sup>	%	2%	2%	2%	2%	2%
Personalstärke	Cap	1	7	25	40	200
Wartungs- und Instandhaltungskosten <sup>b</sup>	€/(kW <sub>el</sub> *a)	63	50	33	28	70
Variable Betriebskosten <sup>b</sup>	€/MWh <sub>el</sub>	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2

<sup>a</sup> Die Jahresemissionen beziehen sich auf das Jahr 2010. Bei KWK-Anlagen wird aufgrund des hohen Gesamtwirkungsgrades (thermisch und elektrisch) eine konstante Jahresemission erwartet.  
<sup>b</sup> Die Angaben beziehen sich auf das Jahr 2010.  
<sup>c</sup> Die Versicherungskosten sind als Anteil der Investitionskosten angegeben.

Quelle: ELIAS, Öko-Institut.

Für die Berechnungen wird ein kalkulatorischer Zinssatz von 10 % zu Grunde gelegt (EWI/Prognos 2006).

### Mindestzubau sowie Zubaubeschränkungen

Für eine Reihe von Zubauoptionen sind obere beziehungsweise untere Begrenzungen zu berücksichtigen, die im Modell durch Bounds abgebildet wurden:

- Die Braunkohlenverstromung in Deutschland ist durch die Erschließbarkeit von Braunkohlevorkommen eingeschränkt. Im Rahmen der Modellierung wurde der Zubau von neuen Braunkohlekraftwerken deshalb auf rund 110 TWh bis 2030 begrenzt. Zusammen mit den Bestandskraftwerken entspricht dies etwa der oberen Begrenzung, die in DIW et al. (1999) in Ansatz gebracht wurde.
- Die verfügbaren Wärmesenken für große KWK-Anlagen (vor allem der Größenklasse mit elektrischen Leistungen über 200 MW) sind in Deutschland begrenzt. Der Ausbau von KWK-Anlagen der oberen Leistungsklassen wurde deshalb – bei einem stetigen Anstieg dieser Bounds – bis zum Jahr 2030 auf eine maximale Stromerzeugung von insgesamt 94 TWh (für Heizkraftwerke sowie industrielle KWK-Anlagen) begrenzt.
- Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien wird in ELIAS modellexogen vorgegeben. Hierzu werden die Werte der Projektion der erneuerbaren Energien (Abschnitt 3.2.7) übernommen.
- Es wird davon ausgegangen, dass diejenigen Kraftwerke, die sich in einem fortgeschrittenen Planungs- oder Baustadium befinden, auch tatsächlich gebaut werden, unabhängig davon, welche Politiken und Maßnahmen umgesetzt wer-

den. Diese Kraftwerke entsprechen einer installierten elektrischen Leistung von rund 7 GW im Jahr 2010 und rund 15 GW im Jahr 2015 (Tabelle 3-71).

**Tabelle 3-71** *Installierte elektrische Leistung von Kraftwerken, die sich in Planung bzw. Bau befinden*

Kraftwerk	Installierte elektrische Leistung (GW <sub>el</sub> )	
	2010	2015
Steinkohle	0,8	7,3
Braunkohle	2,1	2,8
Erdgas-GuD	4,1	4,7

Quellen: Zusammenstellung und Annahmen des Öko-Instituts.

### Anlegbarer Wärmepreis

Neben den Brennstoffpreisen (Abschnitt 2.2) für den Verstromungseinsatz ist für die Bewertung von Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen der anlegbare Wärmepreis von besonderer Bedeutung. Da die Wärme aus KWK-Anlagen einerseits im Regelfall über kapitalintensive Wärmenetze verteilt werden muss (dadurch sinken die erzielbaren Wärmeerlöse frei Kraftwerk) und andererseits die konkurrierende, ungekoppelte Wärmeerzeugung beim Wärmeabnehmer nicht mit den günstigen Brennstoff-Einstandspreisen für die Stromerzeugung rechnen kann (dies erhöht in der Tendenz die frei Kraftwerk erzielbaren Wärmeerlöse), wurde für KWK-Anlagen, die für die Fernwärmeversorgung eingesetzt werden, angenommen, dass sich der Wärmepreis aus dem Gaspreis unter Berücksichtigung eines Haushaltszuschlags sowie von Verteilkosten und Netzverlusten ableiten lässt. Für industrielle KWK-Anlagen wurde angenommen, dass die Wärme in Erdgas-Brennwertkesseln erzeugt wird (Annahme Wärmepreis gleich Gaspreis).

### Maßnahmenbezogene Parameter

Die in Abschnitt 3.2.6.1 aufgeführten, für die fossile Stromerzeugung relevanten Politikmaßnahmen, haben Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit von Kraftwerksinvestitionen. Die im Modell implementierten Parameter werden im Folgenden dargestellt.

Die *Besteuerung von Erdgas* wird im Rahmen des MMS abgeschafft, was ebenfalls für das SWS gilt. Insofern fallen hier keine zusätzlichen Kosten an. Im Gegensatz dazu entstehen in Erdgas-Kondensationskraftwerken im Ohne-Maßnahmen-Szenario (OMS) zusätzliche Kosten für die Brennstoffsteuer in Höhe von 0,57 €/GJ (H<sub>0</sub>).

Für den *Emissionshandel* wird derjenige Anteil der CO<sub>2</sub>-Zertifikate ermittelt, der von den einzelnen (Neubau-)Kraftwerken effektiv erworben werden muss. Die zu erwerbenden Emissionsberechtigungen werden in der Investitionsrechnung mit dem jeweiligen CO<sub>2</sub>-Preis bewertet und gehen somit in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ein.

Für die zweite Phase des Emissionshandelssystems (2008 bis 2012) werden laut ZuG 2012 für Stein- und Braunkohle-Kraftwerke Emissionsberechtigungen für die Strom-

produktion in Höhe von 750 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>el</sub> und für Gaskraftwerke von 365 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>el</sub> kostenlos zugeteilt. Die tatsächliche Zuteilungsmenge ergibt sich darüber hinaus aus der Anwendung eines kraftwerksspezifischen Standard-Auslastungsfaktors sowie einem Kürzungsfaktor von 17%. Für KWK-Anlagen werden zusätzlich kostenlos Emissionsberechtigungen für die Wärmeproduktion in Höhe von 225 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>th</sub> (Gase) bzw. 345 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>th</sub> (andere Brennstoffe) ohne Anwendung eines Kürzungsfaktors zugeteilt.

Für den Emissionshandel von 2013 bis 2020 wird angenommen, dass der strombezogene Anteil der CO<sub>2</sub>-Emissionen vollständig (100 %) auf dem Zertifikatemarkt erworben werden muss. Für KWK-Anlagen wird angenommen, dass es zu einer kostenlosen Zuteilung für die Wärmeproduktion auf Grundlage eines an der zweiten Handelsperiode angelehnten Benchmarks kommt.

Ab 2021 wird angenommen, dass alle Kraftwerke (Kondensationskraftwerke und KWK-Anlagen) die benötigten CO<sub>2</sub>-Zertifikate vollständig erwerben müssen.

Die so ermittelte Zuteilungsmenge für jedes in ELIAS berücksichtigte Kraftwerk wird in Bezug zur tatsächlich von den Kraftwerken emittierten CO<sub>2</sub>-Menge gesetzt, die sich aus dem Wirkungsgrad der Kraftwerke, dem Brennstoff sowie der in ELIAS angenommenen Benutzungsstunden ergibt. Damit kann ermittelt werden, welcher Anteil der tatsächlichen CO<sub>2</sub>-Emission der Kraftwerke auf dem Zertifikatemarkt erworben werden muss.

Es kann zu positiven Auktionierungsanteilen (Nettozukauf von Zertifikaten – Kosten) sowie negativen Auktionierungsanteilen (Nettoverkauf von Zertifikaten – Erlöse) für einzelne Kraftwerkstypen kommen. Positive Auktionierungsanteile können sich insbesondere dann ergeben, wenn die spezifische Emission des Kraftwerks höher als der Benchmark ist (z.B. für Braunkohle-Kraftwerke) sowie durch den Kürzungsfaktor bzw. durch vollständige Auktionierung ab 2013. Zu negativen Auktionierungsanteilen kann es durch Zuteilung auf Basis eines Doppelbenchmarks (KWK-Anlagen), durch geringere spezifische Emission des Kraftwerks als im Benchmark vorgegeben sowie durch geringere tatsächliche Benutzungsstunden als mit der Standard-Auslastung vorgegeben (z.B. Gasturbinen) kommen. Tabelle 3-72 zeigt die in ELIAS verwendeten effektiven Auktionierungsanteile der verschiedenen Kraftwerkstypen<sup>22</sup>.

---

<sup>22</sup> Die dargestellten Auktionierungsanteile beziehen sich auf das SWS. Für das MMS weichen diese leicht ab, da die mit dem Merit-Order-Modell ermittelten Benutzungsstunden (und damit die jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen der jeweiligen Kraftwerke) szenarienabhängig sind.

Tabelle 3-72 Auktionierungsanteil verschiedener Kraftwerke

Kraftwerk	Auktionierungsanteil	
	2008 - 2012	2013 - 2020
<b>Kondensationskraftwerke</b>		
Steinkohle	-27%	100%
Braunkohle	20%	100%
Gas GuD 800MW	-43%	100%
Gas GuD 400MW	-43%	100%
Gasturbine	-119%	100%
<b>KWK-Anlagen</b>		
Gas GuD 30MW	-69%	16%
Gas GuD 100MW	-54%	31%
Gas GuD 407MW	-127%	1%
Steinkohle	-68%	48%

Quelle: ZuG 2012, Annahmen und Berechnungen des Öko-Instituts.

Für die Berücksichtigung von strikteren weltweiten (mindestens EU-weiten) Klimaschutzzielen im Rahmen des SWS wird davon ausgegangen, dass die CO<sub>2</sub>-Zertifikatspreise stärker steigen werden und 50 €/EUA im Jahre 2030 erreichen werden (CO<sub>2</sub>-Hochpreisszenario in Abschnitt 2.2). Durch Anwendung des Auktionierungsanteils ergeben sich die jeweiligen (erhöhten) Kosten oder Erlöse für jeden Kraftwerkstyp.

Die Förderung für neue KWK-Anlagen im MMS beträgt gemäß dem novellierten KWKG 2008 51,1 Euro pro MWh KWK-Stromerzeugung für BHKW kleiner als 50 kW installierter Leistung, 21 Euro pro MWh für BHKW bis zu 2 MW installierter Leistung sowie 15 Euro pro MWh für große KWK-Anlagen. Die Förderdauer beträgt sechs Jahre (vier Jahre für industrielle KWK-Anlagen), jedoch maximal 30.000 Betriebsstunden. Der Barwert dieser Bonuszahlungen wird in ELIAS den entsprechenden KWK-Anlagen bei der Investitionsrechnung als Erlös gutgeschrieben. Im SWS wird die im KWKG 2008 enthaltene Förderung über das Jahr 2016 hinaus fortgeführt. Der Barwert der Vergütung entspricht dem KWKG 2008, jedoch werden die Zuschlagszahlungen in ihrer nominalen Höhe gesenkt, dafür jedoch auf die Lebensdauer der jeweiligen Kraftwerke<sup>23</sup> erweitert. Damit ergibt sich ein Zuschlag von 5,4 bis 6,0 €/MWh für Erdgas-GuD- und Steinkohle-KWK-Anlagen und 9,1 €/MWh für Erdgas-BHKW. Darüber hinaus wird die KWK-Strom- und Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien in ELIAS berücksichtigt (Abschnitt.3.2.7).

Im SWS wird ferner ein Förderprogramm aufgelegt, das Investitionskostenzuschüsse für Mikro-BHKW (beispielsweise in Haushalten) enthält. Die Zuschüsse werden derart ausgestaltet, dass im Jahr 2020 50 % des jährlichen Potenzials solcher Anlagen zugebaut wird. Tabelle 3-73 zeigt den Zubau von Mikro-BHKW im SWS im Überblick.

<sup>23</sup> Erdgas-BHKW 20 Jahre, Erdgas-GuD-KWK 25 Jahre, Steinkohle-KWK 35 Jahre.

Tabelle 3-73 Zubau von Mikro-BHKW im SWS

	2010	2015	2020	2025	2030
Jährlicher Zubau (Anzahl)	70.000	210.000	350.000	350.000	350.000
Jährlicher Zubau (MW)	70	210	350	350	350
Kumulierter Zubau (MW)	70	840	2.310	4.060	5.810
Kumulierte Stromproduktion (TWh)	0,3	3,4	9,2	16,2	23,2

Quelle: E&M (2006), Annahmen und Berechnungen Öko-Institut.

Erhöhung der Wärmegutschrift für KWK-Anlagen: Wärmeverbraucher, die nicht dem Emissionshandel unterliegen, werden einem CO<sub>2</sub>-Preissignal ausgesetzt, das dem Preissignal des jetzigen Emissionshandels entspricht. Dadurch erhöht sich der anlegbare Wärmepreis um die Zertifikatskosten, die dem CO<sub>2</sub>-Benchmark für Wärmeerzeuger (215 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>th</sub>) entsprechen.

Mit dem MMS wird die Vergütung für vermiedene Netznutzung für dezentrale Erzeuger eingeführt. Diese wird im SWS gleichermaßen weitergeführt. Für die Modellierung in ELIAS wurde für große KWK-Anlagen, die in die Mittelspannungsebene einspeisen, eine Vergütung von 5 €/MWh<sub>el</sub> angenommen, für Blockheizkraftwerke (BHKW), die in das Niederspannungsnetz einspeisen, von 10 €/MWh<sub>el</sub>.

### 3.2.6.4 Ergebnisse der Projektionen

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Projektionen für das MMS und das SWS im Bereich der Stromerzeugung dargestellt.

Die *gesamte Wirkung* des jeweiligen Szenarios in Bezug auf die Emission von Treibhausgasen ermittelt sich über Differenzberechnung der Emissionen zwischen MMS und OMS (Wirkung des MMS) beziehungsweise SWS und MMS (Wirkung des SWS).

Die *Wirkung einzelner Maßnahmen* eines jeweiligen Szenarios wird in der Modellierung durch Einschaltung jeweils nur einer Maßnahme im Modell ELIAS berechnet. So werden beispielsweise für die Ermittlung der Maßnahmenwirkung eines erhöhten CO<sub>2</sub>-Preises im SWS prinzipiell die Einstellungen des MMS verwendet, jedoch der CO<sub>2</sub>-Preis, wie im SWS definiert, erhöht (alle anderen SWS-Maßnahmen bleiben ausgeschaltet). Die Differenz zwischen diesen beiden Rechnungsläufen (MMS sowie erhöhter CO<sub>2</sub>-Preis gegenüber MMS) in Bezug auf die Treibhausgas-Emissionen entspricht der Wirkung dieser Maßnahme.

Die Summe der Wirkung aller Einzelmaßnahmen wird in der vorletzten Zeile der jeweiligen Maßnahmentabelle dargestellt. In der letzten Zeile wird der um Überlagerungseffekte bereinigte Gesamteffekt aller Maßnahmen aufgeführt.

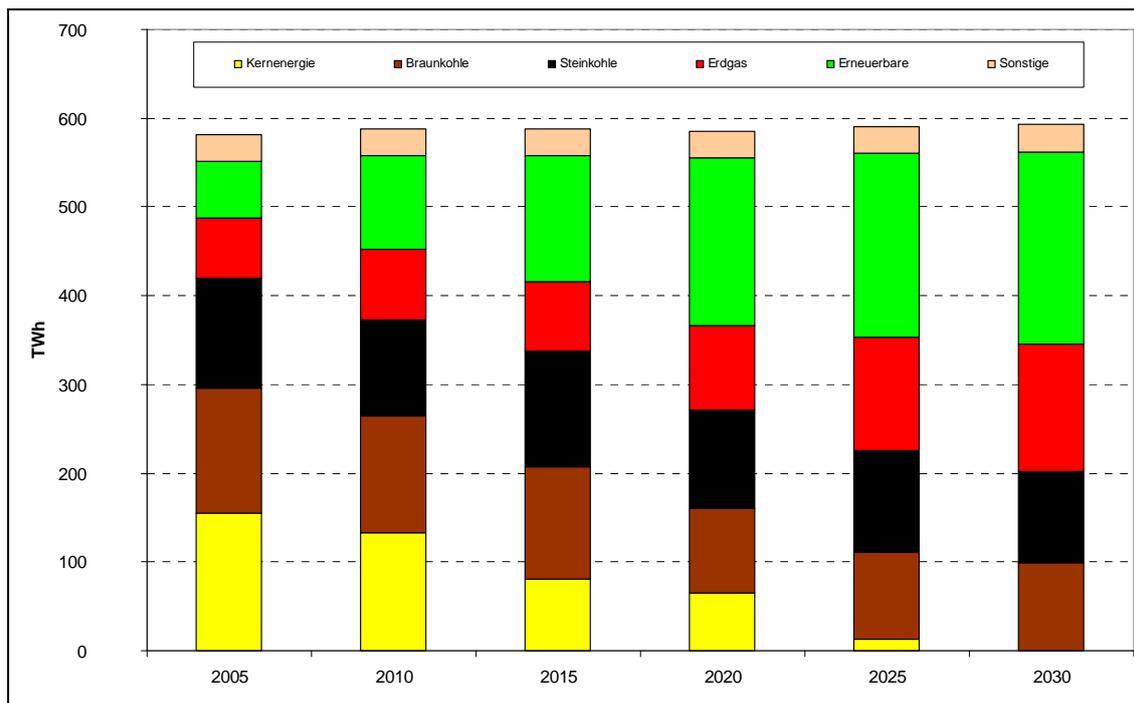
Die Maßnahmenwirkung des MMS (im Vergleich zum OMS) entspricht den in Politiksznarien V enthaltenen Berechnungen. Eine Aktualisierung des OMS und damit der Maßnahmenbewertung des MMS, obwohl prinzipiell möglich, war nicht Gegenstand dieser Studie. Für die Ermittlung der Maßnahmenwirkung des SWS wurde das MMS

aktualisiert. Die entsprechenden Rechnungen zur Maßnahmenwirkung des SWS wurden demnach im Rahmen dieser Studie durchgeführt.

### 3.2.6.4.1 Mit-Maßnahmen-Szenario

Die Bewertung der Auswirkungen der im MMS enthaltenen Maßnahmen bezieht sich innerhalb dieses Abschnitts ausschließlich auf *direkte* Effekte, d.h. direkt im Stromsektor wirksame CO<sub>2</sub>-Reduktionen. Diese umfassen CO<sub>2</sub>-Reduktionen durch Änderung im Kraftwerkspark (Effizienzverbesserungen, Brennstoffwechsel) sowie Effekte durch einen sinkenden Bedarf an fossiler Stromerzeugung (durch erneuerbare Stromerzeugung sowie durch Nachfragereduktion). Indirekte Effekte, insbesondere durch Verdrängung ungekoppelter Wärmeenergie durch aus KWK-Anlagen ausgekoppelte Fernwärme oder durch sich verändernde Strompreise werden in den Endenergiesektoren betrachtet. Abbildung 3-26 und Tabelle 3-74 stellen die Struktur der Stromerzeugung für das MMS bis 2030 dar<sup>24</sup>.

Abbildung 3-26 Entwicklung der Nettostromerzeugung im Mit-Maßnahmen-Szenario



Quelle: Berechnungen Öko-Institut.

<sup>24</sup> Im Rahmen dieser Studie aktualisierte Berechnungen.

Tabelle 3-74 Entwicklung der Nettostromerzeugung im Mit-Maßnahmen-Szenario

	2005	2015	2020	2025	2030
	TWh				
Kernenergie	155	81	66	13	0
Braunkohle	142	127	95	98	98
davon neue Kondensations-KW	0	18	18	30	37
Steinkohle	123	131	111	115	103
davon neue Kondensations-KW	0	33	37	47	52
davon neue KWK	0	0	0	2	4
Erdgas	68	78	95	127	143
davon neue Kondensations-KW	0	17	24	48	61
davon neue KWK	0	6	24	38	47
Erneuerbare	63	142	189	207	217
Sonstige	30	30	30	30	30
Summe	582	588	586	590	593
davon KWK (Bestand und neu, ohne erneuerbare KWK)	68	65	75	86	90

Quelle: Berechnungen Öko-Institut.

Wie in Abschnitt 3.2.7 beschrieben, nimmt die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien von 63 TWh im Jahr 2005 auf 217 TWh im Jahr 2030 zu. Die Stromerzeugung in Kernkraftwerken sinkt entsprechend der Vorgaben des Atomgesetzes (AtG) von 155 TWh auf 0 TWh im Jahr 2030. Die Braunkohleverstromung nimmt mit 98 TWh im Jahr 2030 um 44 TWh gegenüber 2005 ab. Dies bedeutet aufgrund der Stilllegung alter Braunkohle-Kraftwerke eine Stromerzeugung von 37 TWh in neuen Braunkohle-Kraftwerken. Die Stromerzeugung in Steinkohlekraftwerken nimmt von 123 TWh auf 103 TWh ab, wobei der Ersatzbedarf größtenteils durch neue Kondensationskraftwerke gedeckt wird (52 TWh) und nur zu einem kleineren Teil durch KWK-Anlagen (4 TWh). Die Erdgasverstromung nimmt von 68 TWh auf 143 TWh zu, wobei mehr als ein Drittel (47 TWh) der neuen Erdgas-Kraftwerke als KWK-Anlagen gebaut wird. Die fossile KWK-Stromerzeugung nimmt von 68 TWh (2005) auf 90 TWh (2030) zu. Die KWK-Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien steigt von rund 8 TWh (2005) auf 21 TWh im Jahr 2030, wobei diese Werte nicht mit in Tabelle 3-74 ausgewiesen sind.

Es muss darauf hingewiesen werden, dass der Zubau neuer Kraftwerke bis 2015 weitgehend durch die sich bereits heute im Bau befindlichen Kraftwerke (Tabelle 3-71) sowie durch den Zubau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien (Abschnitt 3.2.7) bestimmt wird. Dementsprechend können die bis dahin wirksamen Politikmaßnahmen in nur eingeschränktem Maße Wirkung entfalten.

Somit ergibt sich erst ab dem Jahr 2020 ein nennenswerter Zubau neuer Kraftwerke als Modellierungsergebnis (vor allem Erdgas-Kondensations- und -KWK-Anlagen, aber auch Steinkohle- und Braunkohle-Kraftwerke). Die KWK-Stromerzeugung steigt von 2005 bis 2030 (einschließlich der biogenen KWK) von 76 TWh auf 111 TWh. Damit wird im Jahr 2030 ein KWK-Anteil von rund 19 % erreicht. Damit wird das KWK-Ziel (25 % bis 2020) verfehlt.

Tabelle 3-75 Zusammenfassung der Wirkung bisheriger Maßnahmen (Mit-Maßnahmen-Szenario)

Maßnahme/ Umsetzung/ Institution	Typ	Beschreibung/Ziele (Wirkungsbereich)	Umsetzungs- stand (Wirkungs- beginn)	Direkte Emissionsminderungseffekte			
				2010	2015	2020	2030
				Mio. t CO <sub>2</sub> -Äqu.			
Abschaffung der Erdgassteuer	F	Erhöhung der Attraktivität der Erdgasverstromung	2006	0	0	0	Nicht individuell gerechnet
Entgelt für vermiedene Netznutzung	O	Ökonomische Verbesserung dezentraler Einspeiser (v.a. KWK)	2001	0	0	3	
Emissionshandel	E	Kosteneffektive CO <sub>2</sub> -Minderung	2005	0	0	15	
KWK-G	E	Vergütung von KWK-Stromerzeugung	2002, Novelle 2007	0	0	0	
Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)	R,E	Mindestvergütung für die Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien	In Kraft seit April 2000, Novellen 2004/2008	4	13	36	
Stromeinsparung	O	Verringerung des Stromverbrauchs gegenüber OMS	2005	3	6	7	
<b>Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen</b>				7	19	61	
<b>Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen (ohne Überlagerungseffekte)</b>				7	19	51	

Quellen: Berechnungen des Öko-Instituts.

Tabelle 3-75 zeigt die Zusammenfassung der Wirkung der bislang ergriffenen Maßnahmen, differenziert nach einzelnen Maßnahmen<sup>25</sup>. Die Angaben beziehen sich ausschließlich auf direkte CO<sub>2</sub>-Effekte, d.h. direkt im Kraftwerkssektor wirksame Maßnahmen. Indirekte Effekte durch den Einsatz von Fernwärme anstatt ungekoppelter Wärme werden in Verwendungssektoren für die KWK-Wärme berücksichtigt.

Die Darstellung zeigt, dass 43 Mio. t CO<sub>2</sub> der insgesamt eingesparten 61 Mio. t CO<sub>2</sub> (Summe aller Maßnahmen) auf die geringere fossile Stromerzeugung im MMS im Vergleich zum Ohne-Maßnahmen-Szenario (OMS) zurückzuführen ist. Neben einer Reduktion der Stromnachfrage gegenüber dem OMS ist hier insbesondere der größere Zubau erneuerbarer Energien ausschlaggebend. Die Einführung des Emissionshandels schlägt mit einer Emissionsminderung von 15 Mio. t CO<sub>2</sub> gegenüber dem OMS im Jahr 2020 zu Buche. Das KWKG entfaltet im MMS kaum eine Wirkung, da der Kraftwerkszubau bis einschließlich 2015 durch bereits im Bau befindliche Kraftwerke und erneuerbare Energien gedeckt wird (s.o.) und da im Jahr 2020 aufgrund der begrenzten Laufzeit keine KWK-Förderung im MMS vorgesehen ist. Die Einführung des Entgelts für vermiedene Netznutzung sowie die Abschaffung der Erdgassteuer haben im Vergleich zu den anderen Maßnahmen einen ebenfalls geringen bzw. zu vernachlässigenden Effekt. CO<sub>2</sub>-Einsparungen durch Ersatz von fossilen Brennstoffen durch KWK-Wärme in Haushalten, GHD und in der Industrie werden in den jeweiligen Sektoren quantifiziert.

<sup>25</sup> Ergebnisse der Berechnungen von Politiksznarien V. Keine Aktualisierung im Rahmen dieser Studie. Szenarienhorizont in Politiksznarien V bis 2020.

Werden die Szenarienergebnisse um die Überlagerungseffekte der Einzelmaßnahmen bereinigt, so ergeben sich 51 Mio. t CO<sub>2</sub> als Gesamtreduktion für das Maßnahmenpaket des MMS im Jahr 2020 (Tabelle 3-75).

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stromerzeugungsanlagen sinken im Mit-Maßnahmen-Szenario von rund 363 Mio. t (2005) auf 295 Mio. t im Jahr 2020 und knapp 307 Mio. t im Jahr 2030 (Tabelle 3-79). Der Zubau erneuerbarer Energien (217 TWh im Jahr 2030) überkompensiert damit emissionsseitig den Ausstieg aus der Kernenergie (Stromproduktion im Jahr 2005: 155 TWh). Durch die Maßnahmen des MMS können in Bezug auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Kraftwerksparks bis 2020 Einsparungen von rund 19 % gegenüber 2005 bzw. rund 33 % gegenüber 1990 erreicht werden. Für das Jahr 2030 betragen die Emissionsminderungen 16 % (im Vergleich zu 2005) bzw. 30 % (im Vergleich zu 1990).

#### 3.2.6.4.2 Strukturwandel-Szenario

Wie für das MMS umfasst die Bewertung der Maßnahmen des SWS ausschließlich direkte Effekte. Abbildung 3-27 und Tabelle 3-76 stellen die Berechnungsergebnisse für das SWS dar.

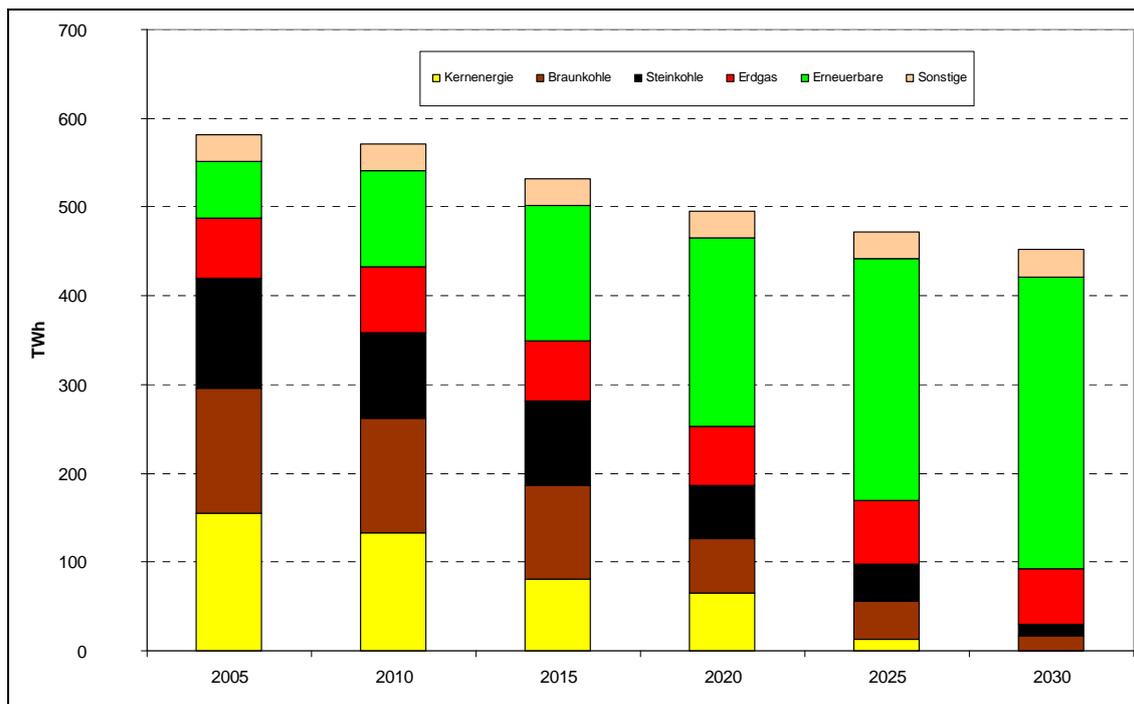
Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien erhöht sich vorgabengemäß (Abschnitt 3.2.7) von 63 TWh (2005) auf 328 TWh (2030). Darüber hinaus sinkt die Stromnachfrage deutlich von 582 TWh (2005) auf 452 TWh (2030). Dementsprechend ist der (arbeitsbezogene) Zubaubedarf für neue fossile Kraftwerke sehr begrenzt und wird im Wesentlichen durch die sich bereits im Bau befindlichen Kraftwerke (Tabelle 3-71) sowie durch Erdgas-BHKW (einschließlich Mikro-BHKW) und in geringem Umfang durch neue Gasturbinen gedeckt. Darüber hinaus kommt es zu Änderungen im Kraftwerksbetrieb durch die Einspeisung erneuerbarer Energien, durch den höheren CO<sub>2</sub>-Preis sowie durch die KWK-Zuschlagszahlungen und eine erhöhte Wärmegutschrift. Aufgrund der deutlich gesunkenen Stromnachfrage und der deutlich gestiegenen Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien kommt es außerdem zu einer geringeren Auslastung der Bestandskraftwerke (und damit einer entsprechend geringeren Stromerzeugung in diesen Kraftwerken).

Wie im MMS wird davon ausgegangen, dass die Beschlüsse des AtG umgesetzt werden. Die Stromerzeugung in Kernkraftwerken läuft bis zum Jahr 2030 vollständig aus. Der Zubau von Braunkohle-, Steinkohle-, und Erdgas-GuD-Kondensationskraftwerken entspricht den sich bereits in Planung oder Bau befindlichen Kraftwerken (Tabelle 3-71). Die Stromproduktion von neuen Braunkohlekraftwerken nimmt im Szenarienhorizont jedoch aufgrund sinkender Benutzungsstunden ab (4 TWh im Jahr 2030). Insgesamt sinkt die Braunkohleverstromung aufgrund der Außerbetriebnahme alter Kraftwerke sowie aufgrund kürzerer Betriebszeiten von 142 TWh (2005) auf 17 TWh (2030). Der Neubau von Steinkohlekraftwerken wird ebenfalls ausschließlich durch bereits im Bau befindliche Kraftwerke bestimmt (8 TWh im Jahr 2030). Die gesamte Stromerzeugung in Steinkohlekraftwerken sinkt von 123 TWh auf 12 TWh. Die Erdgasverstromung nimmt leicht von 68 TWh auf 64 TWh ab, wobei der Neubau im Wesentlichen

durch bereits geplante Kraftwerke sowie Gasturbinen und BHKW gedeckt wird. Die fossile KWK-Stromerzeugung nimmt insgesamt von 68 TWh auf 54 TWh ab. Die KWK-Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien steigt von rund 8 TWh (2005) auf 23 TWh (2030) (nicht in Tabelle 3-76 ausgewiesen). Damit erreicht die KWK-Stromerzeugung (77 TWh) im Jahr 2030 einen Anteil von rund 17%, womit das KWK-Ziel (25 % KWK-Stromerzeugung bis 2020) nicht erreicht werden kann.

Der Vergleich mit dem MMS (Tabelle 3-77) zeigt zunhchst deutlich, dass die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bis 2030 um 111 TWh zugenommen hat, whrend die gesamte Stromnachfrage um 141 TWh gesunken ist. Damit sinkt der Neubaubedarf fr fossile Kraftwerke im Vergleich zum MMS um 252 TWh. Im Vergleich zum MMS reduziert sich die Verstromung in Braunkohlekraftwerken um 81 TWh, in Steinkohlekraftwerken um 91 TWh. Die Erdgasverstromung sinkt um 79 TWh. Die KWK-Stromerzeugung im Jahr 2030 liegt im SWS um 36 TWh unter dem MMS (Mindererzeugung bei der fossilen KWK, die biogene KWK steigt im SWS geringfugig gegenuber dem MMS).

Abbildung 3-27 *Entwicklung der Nettostromerzeugung im Strukturwandel-Szenario*



Quelle: Berechnungen Öko-Institut.

Tabelle 3-76 Entwicklung der Nettostromerzeugung im Strukturwandel-Szenario

	2005	2015	2020	2025	2030
Kernenergie	155	81	66	13	0
Braunkohle	142	106	61	44	17
davon neue Kondensations-KW	0	15	10	9	4
Steinkohle	123	94	60	41	12
davon neue Kondensations-KW	0	27	21	18	8
davon neue KWK	0	0	0	0	0
Erdgas	68	68	67	72	64
davon neue Kondensations-KW	0	15	16	18	11
davon neue KWK	0	11	21	34	46
Erneuerbare	63	152	212	272	328
Sonstige	30	30	30	30	31
Summe	582	532	496	472	452
davon KWK (Bestand und neu, ohne erneuerbare KWK)	68	61	55	57	54

Quelle: Berechnungen Öko-Institut.

Tabelle 3-77 Wirkung optionaler Maßnahmen zur Stromerzeugung im Kraftwerkspark (Differenz SWS – MMS)

	2010	2015	2020 TWh	2025	2030
Kernenergie	0	0	0	0	0
Braunkohle	-2	-21	-34	-54	-81
davon neue Kondensations-KW	0	-4	-7	-21	-33
Steinkohle	-11	-36	-51	-74	-91
davon neue Kondensations-KW	0	-6	-17	-29	-44
davon neue KWK	0	0	0	-2	-4
Erdgas	-6	-10	-28	-55	-79
davon neue Kondensations-KW	4	-3	-8	-30	-50
davon neue KWK	1	5	-3	-4	-1
Erneuerbare	2	10	22	64	111
Sonstige	0	0	0	0	0
Summe	-17	-57	-90	-119	-141
davon KWK (Bestand und neu, ohne erneuerbare KWK)	0	-5	-21	-28	-36

Quelle: Berechnungen Öko-Institut.

Tabelle 3-78 stellt die Effekte bezüglich der CO<sub>2</sub>-Emissionsminderung differenziert nach einzelnen Maßnahmen im SWS dar (direkte Effekte).

Tabelle 3-78 Zusammenfassung der Wirkungen im Strukturwandel-Szenario

Maßnahme/ Umsetzung/ Institution	Typ	Beschreibung/Ziele (Wirkungsbereich)	Umsetzungs- stand (Wirkungs- beginn)	Direkte Emissionsminderungseffekte			
				2015	2020	2025	2030
				Mio. t CO <sub>2</sub> -Äqu.			
Veränderung der KWK- Vergütung	E	Erhöhung der KWK-Stromerzeugung	2017	IE	IE	IE	IE
Förderung von Mikro- BHKW	E	Erhöhung der KWK-Stromerzeugung	2010	IE	IE	IE	IE
Erhöhung der Wärmegutschrift	E	Erhöhung der KWK-Stromerzeugung	2010	IE	IE	IE	IE
Einführung strikter Klimaschutzziele	E	Steigender CO <sub>2</sub> -Preis	2010	IE	IE	IE	IE
Verstärkte Förderung erneuerbarer Energien	R,E	Verstärkte Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien	2010	9	16	45	75
Stromeinsparung	O	Verringerung des Stromverbrauchs gegenüber MMS	2010	54	76	96	103
Änderung des Kraftwerksbetriebs	E	Veränderung des Kraftwerksbetriebs fossiler Kraftwerke durch Einspeisung erneuerbarer Energien, steigenden CO <sub>2</sub> -Preis, Erhöhung der Wärmegutschrift und KWK-Zuschlag.	2010	1	8	12	21
<b>Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen</b>				64	100	153	198
<b>Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen (ohne Überlagerungseffekte)</b>				64	100	153	198

Quellen: Berechnungen Öko-Institut.

Im SWS fällt der größte Anteil der Emissionsminderung mit 178 Mio. t CO<sub>2</sub> bis 2030 auf die starke Minderung der Stromnachfrage (-141 TWh) sowie den verstärkten Zubau erneuerbarer Stromerzeugung im SWS im Vergleich zum MMS (+111 TWh). Die Veränderung der KWK-Vergütung, die Förderung der Mikro-BHKW, die Erhöhung der Wärmegutschrift sowie die Einführung strikter Klimaschutzziele führen prinzipiell zu einer Stärkung der KWK-Verstromung. Die CO<sub>2</sub>-Minderungseffekte können an dieser Stelle jedoch nicht ausgewiesen werden, da nur direkte Minderungseffekte der Kraftwerke berücksichtigt werden. Die indirekten Minderungseffekte durch Verdrängung ungekoppelter Wärmeenergie fallen in den Endverbrauchssektoren (Haushalte, GHD und Industrie) an.<sup>26</sup> Darüber hinaus führen die Einspeisung erneuerbarer Energien, steigende CO<sub>2</sub>-Preise sowie eine erhöhte Wärmegutschrift und ein Zuschlag für KWK-Stromerzeugung zu einer Änderung des Kraftwerksbetriebs und damit zu zusätzlichen, nicht direkt den einzelnen Maßnahmen zuordenbaren, Minderungseffekten. Durch Änderung bei der Einlastung von Kraftwerken sinken insbesondere die Benutzungsstunden CO<sub>2</sub>-intensiver Kraftwerke, wodurch die entsprechenden Emissionen sinken. Gemeinsam erreichen diese kombinierten Merit-Order-Effekte eine zusätzliche Emissionsminderung von 21 Mio. t CO<sub>2</sub> im Jahr 2030. Der Gesamteffekt aller Maßnahmen beträgt im Jahr 2030 198 Mio. t CO<sub>2</sub>.<sup>27</sup>

<sup>26</sup> Entsprechend sind diese Effekte in der Tabelle Tabelle 3-78 als „an anderer Stelle verbucht“ (IE – included elsewhere) gekennzeichnet.

<sup>27</sup> Überlagerungseffekte sind bereits in der Position „Änderung des Kraftwerksbetriebs“ als eigene Maßnahme enthalten.

3.2.6.4.3 Vergleich der Emissionseinsparungen zwischen MMS und SWS

Tabelle 3-79 zeigt die Emissionsentwicklungen für CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O von 1990 bis 2030 im Vergleich des MMS und des SWS sowie die seit 1990 bzw. 2005 erzielten Minderungen im Überblick.

Tabelle 3-79 Emissionseinsparungen der Stromerzeugung bis 2030 im Vergleich der Szenarien

	1990	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	kt CO <sub>2</sub> -Äqu.						
CO <sub>2</sub> -Emissionen							
Entwicklung 1990 - 2005	439.519	363.362					
Mit-Maßnahmen-Szenario			337.485	347.645	295.467	313.477	306.502
Strukturwandel-Szenario			320.895	283.307	195.396	160.063	108.514
CH <sub>4</sub> -Emissionen							
Entwicklung 1990 - 2005	188	138					
Mit-Maßnahmen-Szenario			138	146	134	144	143
Strukturwandel-Szenario			132	124	100	92	75
N <sub>2</sub> O-Emissionen							
Entwicklung 1990 - 2005	4.838	4.048					
Mit-Maßnahmen-Szenario			3.890	4.153	3.577	3.721	3.550
Strukturwandel-Szenario			3.695	3.392	2.448	2.069	1.413
Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O							
Entwicklung 1990 - 2005	444.545	367.547					
Mit-Maßnahmen-Szenario			341.512	351.944	299.179	317.342	310.195
Strukturwandel-Szenario			324.722	286.824	197.944	162.225	110.002
Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O				Veränderung ab 1990 in %			
Mit-Maßnahmen-Szenario			-23,2	-20,8	-32,7	-28,6	-30,2
Strukturwandel-Szenario			-27,0	-35,5	-55,5	-63,5	-75,3
Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O				Veränderung ab 2005 in %			
Mit-Maßnahmen-Szenario			-7,1	-4,2	-18,6	-13,7	-15,6
Strukturwandel-Szenario			-11,7	-22,0	-46,1	-55,9	-70,1
Anmerkungen: nur energiebedingte Emissionen in der Abgrenzung des NIR (ohne - als prozessbedingt gewertete - CO <sub>2</sub> -Emissionen der Kuppelgaskraftwerke), mit CO <sub>2</sub> -Emissionen aus der Rauchgasentschwefelung							

Quelle: UBA (2008 a+b), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut

Die Emissionen der Treibhausgase CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O gehen im MMS in der Periode 2005 bis 2030 von 368 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. auf 310 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu., also um insgesamt etwa 57 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu zurück. Im SWS liegen die Treibhausgasemissionen im Jahr 2030 auf einem Niveau von 110 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. und damit um etwa 200 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. unter dem entsprechenden Wert des MMS.

Im Vergleich zum Emisisionsniveau des Jahres 2005 beträgt die Emissionsreduktion bis zum Jahr 2030 für das MMS knapp 16% und etwa 70% im SWS. Bezogen auf die Ausgangswerte des Jahres 1990 betragen die entsprechenden Reduktionsraten 30 bzw. 75 %.

Die genannten Werte beziehen sich dabei auf die Stromerzeugungsemissionen in der Abgrenzung der nationalen Treibhausgasinventare. Danach werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Gichtgaskraftwerken (Emissionen im Zeitraum 2005 bis 2030 ca. 12

bis 15 Mio. t CO<sub>2</sub>) nicht der Stromerzeugung, sondern den prozessbedingten Emissionen der Eisen- und Stahlindustrie (vgl. Kapitel 3.5.1) zugerechnet.<sup>28</sup>

Berücksichtigt werden in den genannten Zahlen zudem die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus den Rauchgasentschwefelungsanlagen, die im Jahr 2005 ca. 1,4 Mio. t CO<sub>2</sub> betragen und bis zum Jahr 2030 im MMS auf 0,9 Mio. t CO<sub>2</sub> sowie im SWS – bedingt durch den massiven Rückgang der Kohleverstromung – auf etwa 0,2 Mio. t CO<sub>2</sub> zurückgehen.

---

<sup>28</sup> Die genannten Emissionsniveaus von 12 bis 15 Mio. t CO<sub>2</sub> beziehen sich auf die Konventionen zur Emissionsermittlung in den nationalen Treibhausgasinventaren. Hier wird Gichtgas zur Wahrung der Gesamtkonsistenz des Zahlenwerkes emissionsseitig nicht dem Emissionsfaktor bewertet, der sich aus der Umsetzung des im Gichtgas enthaltenen Kohlenstoffs ergibt, sondern mit dem Emissionsfaktor von Steinkohlenkoks. Würde die CO<sub>2</sub>-Emission aus Gichtgaskraftwerken – wie z.B. im Rahmen der Emissionsermittlung im Rahmen des EU-Emissionshandelssystems – mit dem realen Emissionsfaktor von Gichtgas bewertet, so ergeben sich für die Gichtgaskraftwerke im Zeitraum 2005 bis 2030 Emissionen von 31 bis 37 Mio. t CO<sub>2</sub> jährlich. Entsprechend niedriger würden bei dieser Berechnungskonvention die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Bereich der Industrie ausfallen.

### 3.2.7 Erneuerbare Stromerzeugung

#### 3.2.7.1 Vorbemerkungen

Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien ist in den vergangenen Jahren kontinuierlich gewachsen. Dieses Wachstum basiert im Wesentlichen auf der Förderung durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) (BMU 2008b). Das EEG wurde im Jahr 2004 und zum 01.01.2009 novelliert. Zielsetzung des EEG 2009 ist der Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien auf mindestens 30 % des Stromverbrauchs bis 2020 und ein kontinuierliches Wachstum in der Folgezeit.

#### 3.2.7.2 Rahmendaten und Maßnahmen

##### 3.2.7.2.1 Mit-Maßnahmen-Szenario

Das Mit-Maßnahmen-Szenario basiert auf den gegenwärtigen Förderbedingungen des EEG und den flankierenden Förderungen z.B. durch Kreditprogramme. Die Entwicklung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Mit-Maßnahmen-Szenario ergibt sich aus Modellrechnungen mit dem Modell PowerACE ResInvest und einem Abgleich mit der aktuellen Leitstudie 2008 (Nitsch 2008).

Das ursprüngliche politische Mindestziel eines Anteils an der Stromversorgung von 12,5 % bis 2010 wurde bereits im Jahr 2007 übertroffen (BMU 2008a). Im Mit-Maßnahmen-Szenario wird das politische Ziel von mindestens 30 % Anteil an der Stromerzeugung im Jahr 2020 erreicht. Der Anteil an der Stromversorgung erreicht im Jahre 2020 ca. 33 % und übertrifft damit die Projektion eines Szenarios auf Basis der EEG-Novelle 2004<sup>29</sup> um 54 TWh im Jahre 2020. Gegenüber dem Szenario, das auf Basis der EEG-Vergütungssätze der EEG Novelle des Jahres 2004 berechnet wird, steigt die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien somit im Jahr 2020 um 54 TWh.

##### 3.2.7.2.2 Strukturwandel-Szenario

Ein verstärkter Ausbau wird im Strukturwandel-Szenario betrachtet. Der Ausbau im Strukturwandel-Szenario basiert im Wesentlichen auf der Szenariovariante E2 der Leitstudie 2008. Zentrale Annahme dieses Szenarios ist, dass im Rahmen der folgenden Novellierungen des EEG die Förderbedingungen weiterhin angepasst werden, um einen kontinuierlichen hohen Ausbau zu ermöglichen.

Die gesamte Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien erreicht im SWS 212 TWh im Jahr 2020 und liegt somit 23 TWh über dem Mit-Maßnahmen-Szenario. Bis zum Jahr 2030 steigt die Stromerzeugung im Strukturwandelszenario weiter und erreicht

---

<sup>29</sup> Das Vergleichsszenario basiert auf den Förderbedingungen der EEG-Novelle aus dem Jahre 2004, die hier die Basis für das Ohne-Maßnahmen-Szenario bildet. An dieser Stelle ist zu vermerken dass durch die Förderung erneuerbarer Energien bis zum Jahr 2007 eine Stromerzeugung von 87,5 TWh erreicht wurde. Die Projektion auf Basis der Förderbedingungen des EEG aus dem Jahr 2004 führt zu einer Stromerzeugung von 135 TWh im Jahre 2020.

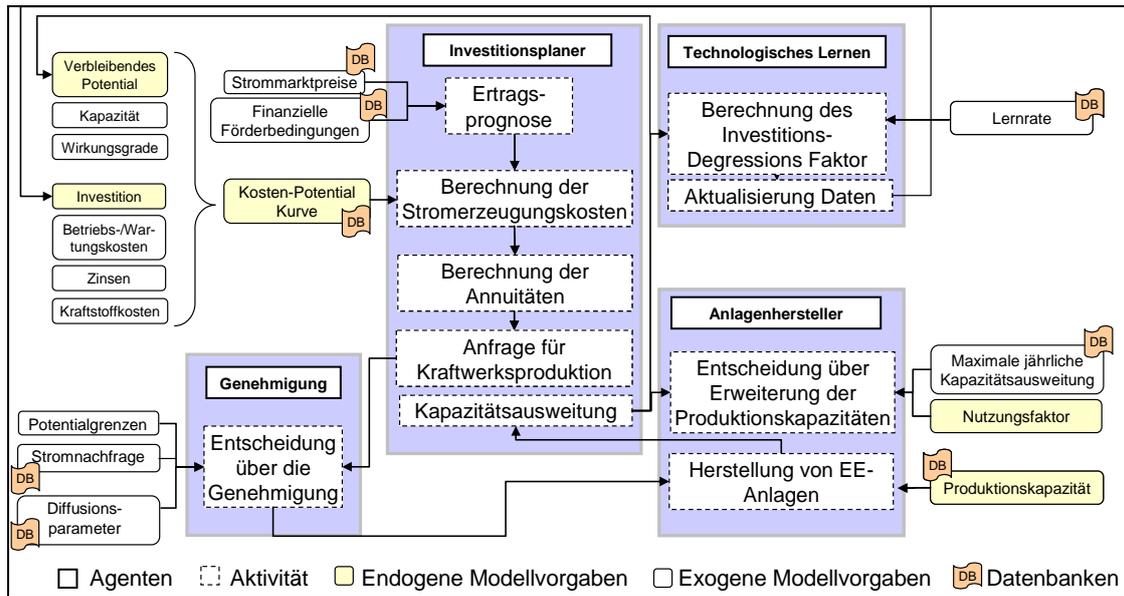
328 TWh. Ein zentraler Beitrag kommt in diesem Zusammenhang aus einer verstärkten Förderung der Offshore-Windenergie im Zeitraum nach 2015. Weitere Beiträge kommen aus dem Bereich der Windenergie an Land und der Photovoltaik. Im Rahmen eines solchen ambitionierten Ausbaus der Stromerzeugung erneuerbarer Energien kommt einer verbesserten Systemintegration erneuerbarer Energien eine besondere Bedeutung zu. Hierzu gehören insbesondere der Ausbau der Stromnetze, und ein Konzept zur Begrenzung der lokalen Widerstände gegen Netzbaubau und die Windenergieanlagen selbst. Weiterhin werden aber auch Mechanismen notwendig, die eine Reaktion der erneuerbaren Energien auf die jeweilige Versorgungslage des Stromversorgungssystems ermöglichen. Hierzu kann insbesondere eine Integration in die Strommärkte gehören.

### **3.2.7.3 Methodik**

Die Projektion der Entwicklung der erneuerbaren Energien basiert auf verschiedenen methodischen Ansätzen. Im Rahmen der Berechnung des Mit-Maßnahmen-Szenarios wird das Modell PowerACE ResInvest verwendet, um den Ausbau Erneuerbarer Energien zu berechnen. Das Modell PowerACE ResInvest ist ein Agenten-basiertes Simulationsmodell, das auf Basis von Anlagenkosten, Strompreisen, Potentialen und Förder-sätzen die Entwicklung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien berechnet. Die Kosten für die verschiedenen Stromerzeugungstechnologien werden durch die Abbildung von technologischem Lernen angepasst. Das Modell berücksichtigt dabei die Interaktion zwischen Projektplanern und Entwicklern, Genehmigungsverfahren und dem Aufbau der Produktionskapazität für Herstellung von erneuerbaren Stromerzeugungsanlagen. Ein Überblick über die Struktur des Modells findet sich in Abbildung 3-28.

Das Strukturwandel-Szenario orientiert sich auch an der Szenariovariante E2 der Leitstudie 2008 (Nitsch 2008).

Abbildung 3-28 Struktur des Modells PowerACE ResInvest



Quelle: Fraunhofer ISI

### 3.2.7.4 Annahmen und Parameter

Die Entwicklung im Mit-Maßnahmen-Szenario basiert auf den derzeitigen Förderbedingungen inkl. der beschlossenen EEG-Novelle für das Jahr 2009. Die Berechnungen für die Entwicklung des Szenarios basieren auf dem Modell PowerACE ResInvest, das anhand von Kosten, Potentialen und Fördersätzen die Entwicklung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien berechnet. Eine Übersicht der Vergütungssätze des EEG 2009 ist in Tabelle 3-80 dargestellt. Durch die Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung aus biogenen Brennstoffen wirkt das EEG auch in begrenzten Umfang im Wärmemarkt.

Die Entwicklung im Strukturwandel-Szenario basiert im Wesentlichen auf der Szenariovariante E2 der Leitstudie 2008.

Tabelle 3-80 Übersicht über die Vergütungssätze des EEG 2009

Deponiegas		Klärgas		Grubengas	
Leistung	cent/kWh	Leistung	cent/kWh	Leistung	cent/kWh
500 kW-5 MW	9	bis 500 kW	7,11	bis 500 kW	7,16
	6,16	0,5-5 MW	6,16	0,5 bis 1 MW	7,16
				1 MW bis 5 MW	5,16
				ab 5 MW	4,16
Technologiebonus: 2 cent/kWh					
Degression 1,5%					

Windenergie Onshore		Windenergie Offshore	
	cent/kWh		cent/kWh
Stufe 1 // Stufe 2	9,2 // 5,02	Stufe 1 // Stufe 2	15 // 3,5
Systemdienst,-Bonus	0,5	Degression ab 2015	5%
Degression	1%	Absenkung 2016	2

Wasserkraft					
Neuanlagen		Modernisiert/revitalisiert		Erneuerte Anlagen ab 5 MW	
Leistung	cent/kWh	Leistung	cent/kWh	Erhöhung (Lst.)	cent/kWh
bis 500 kW	12,67	bis 500 kW	11,67	bis 500 kW	7,29
0,5 bis 2 MW	8,65	0,5 bis 2 MW	8,65	bis 10 MW	6,32
2 MW bis 5 MW	7,65	2 - 5 MW	8,65	bis 20 MW	5,8
				bis 50 MW	4,34
				ab 50 MW	3,5
Degression, ab 5 MW: 1,0%					

Geothermie					
Leistung		Basis	Wärmebonus	Technologiebonus	Bonus bis 2015
bis 5 MW <sub>el</sub>	Vergütung in cent/kWh	16	3	4	4
bis 10 MW <sub>el</sub>		16	3	4	4
ab 10 MW <sub>el</sub>		10,5	0	0	4
	Degression	1%			

Solar				
	Dachanlagen	Freifläche	Eigennutzung	
Leistungsanteil	Vergütung in cent/kWh			
bis 30 kW <sub>el</sub>	43,01	31,94	25,01	
30 kW -100 kW	40,91	31,94	0	
Ab 100 kW	39,58	31,94	0	
Ab 1000 kW	33	31,94	0	
	Degression			
	< 100 kW	> 100 kW		
Deg, 2010	8%	10%	10%	8%
Deg, ab 2011	9%	9%	9%	9%

Biomasse										
Leistung	Basis	Boni								
		TA Luft	NAWARO			Gülle	L-Pflege	Holz	KWK	Tech.
			fest	flüssig	gas	gas	gas			
(cent/kWh)										
0,15 MW	11,67	1	6	6	6	4	2	2,5//4	3	2
0,15-0,5 MW	9,18	1	6	0	6	1	2	2,5//4	3	2
0,5-5 MW	8,25	0	4	0	4	0	0	2,5//4	3	2
5-20 MW	7,79	0							3	2
Degression: 1%										

Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer ISI auf Basis von BMU (2008b).

### 3.2.7.5 Ergebnisse der Projektionen

#### 3.2.7.5.1 Mit-Maßnahmen-Szenario

In Tabelle 3-81 ist die Wirkung des Mit-Maßnahmen-Szenarios dargestellt. Die zentrale Maßnahme im Bereich der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien ist das EEG. Eine detaillierte Darstellung der Entwicklung der Stromerzeugung erneuerbarer Energien im Mit-Maßnahmen-Szenario findet sich in Tabelle 3-82.

Tabelle 3-81 Zusammenfassung des Mit-Maßnahmen-Szenario

Maßnahme	Typ	Beschreibung/Ziele (Wirkungsbereich)	Umsetzungs- stand (Wirkungs- beginn)	Effekt für Stromaufkommen				
				2010	2015	2020	2025	2030
				TWh				
Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) / Bundesregierung	R, E	Mindestvergütungen für die Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien (Ziel: Anteil von mindestens 30% bis 2020)	In Kraft seit April 2000, Novelle 2004, Novelle 2008	106	142	189	207	217
Forschung und Entwicklung / Bundesregierung	D	Förderung von FuE, einschl. Demonstration, Energie-forschungsprogramm	Juni 2005	nicht quantifizierbar				
<b>Ungewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen</b>				106	142	189	207	217
<b>Gewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen (ohne Überlagerungseffekte)</b>				106	142	189	207	217

Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI

Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien erreicht im Jahr 2020 ca. 189 TWh und damit ca. 33 % des Bruttostromverbrauchs. Der Windenergie an Land und auf See kommt im Rahmen dieser Entwicklung besondere Bedeutung zu. Im Jahr 2020 basiert 53 % der erneuerbaren Stromerzeugung auf Windenergie. Bis zum Jahr 2030 steigt die Stromerzeugung weiter auf ca. 217 TWh.

Tabelle 3-82 Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Mit-Maßnahmen-Szenario

	2005	2010	2015	2020	2025	2030
TWh						
Wasserkraft	21,5	22,5	23,9	24,3	24,5	24,6
Windenergie Onshore	27,2	46,8	56,2	67,4	70,3	73,6
Windenergie Offshore	0,0	0,4	9,8	33,8	40,7	42,1
Fotovoltaik	1,3	5,9	11,2	16,8	22,7	27,8
Geothermie	0,0	0,0	0,6	0,9	1,8	1,7
Biomasse (gas & flüssig)	5,9	15,7	21,9	25,6	26	26,3
Biomasse (fest)	5,4	10,3	13,7	16,3	17,2	16,9
Abfall, biogen	2,1	4,25	4,25	4,25	4,25	4,25
<b>Summe Erzeugung</b>	<b>63</b>	<b>106</b>	<b>142</b>	<b>189</b>	<b>207</b>	<b>217</b>
Bruttostromverbrauch (Leitstudie)	612	614	589	571	562	552
Anteil am Bruttostromaufkommen	10,4%	17,2%	24,0%	33,2%	36,9%	39,3%

Quellen: Berechnungen Fraunhofer ISI, Nitsch, 2008

Im Folgenden sollen durch einen Vergleich eines Szenarios auf Basis der Förderbedingungen des EEG 2004 und dem Mit-Maßnahmen-Szenario die Wirkungen der EEG Novelle 2009 analysiert werden.

Zentrale Wirkungen der EEG-Novelle ergeben sich im Rahmen der Windenergie. Durch die Anhebung der Vergütungssätze im Bereich der Windenergie an Land kommt es zu einem fortgesetzten Wachstum der Stromerzeugung. Gegenüber dem Szenario auf Basis der EEG-Novelle 2004 wird im Mit-Maßnahmen Szenario bis zum Jahr 2020 eine Steigerung der Stromerzeugung um 9 TWh erreicht. Eine noch deutlichere Wirkung wird im Bereich der Windenergie Offshore erreicht. Durch die Anpassung der Vergütungssätze kann erwartet werden, dass die Entwicklung der Windenergie im Offshore-Bereich nun auch in Deutschland beginnt. Gegenüber der nicht entwickelten Windenergie im Offshore-Bereich im Szenario auf Basis der EEG-Novelle 2004 kann eine Steigerung der Stromerzeugung um 33,8 TWh erreicht werden. Weitere Anstiege sind im Bereich der Biomasse zu verzeichnen, insbesondere der Stromerzeugung aus Biogas. Im Bereich Biogas führen die Anhebung des NAWARO-Bonus und die Einführung eines Güllebonus zu einem verstärkten Ausbau. Aufgrund der deutlich erhöhten Degression der Vergütung für Photovoltaik kommt es in diesem Bereich zu einer etwas geringeren Steigerung der Stromerzeugung (Tabelle 3-83).

*Tabelle 3-83 Wirkung der EEG-Novelle 2009 (Differenz Mit-Maßnahmen-Szenario, Szenario EEG 2004)*

	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	TWh					
Wasserkraft	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Windenergie Onshore	0,0	2,5	5,6	9,2	9,3	10,5
Windenergie Offshore	0,0	0,4	9,8	33,8	40,7	42,1
Fotovoltaik	0,0	-0,8	-1,6	-4,2	-2,3	-2,6
Geothermie	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Biomasse (gas & flüssig)	0,0	4,0	5,8	6,4	3,5	0,5
Biomasse (fest)	0,0	0,5	1,3	1,5	2,0	1,3
Abfall, biogen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe Erzeugung	0,0	10,8	27,0	54,6	56,7	56,6

Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI

### 3.2.7.5.2 Strukturwandel-Szenario

Die gesamte Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien erreicht im SWS 212 TWh im Jahr 2020 und liegt somit 23 TWh über dem Mit-Maßnahmen-Szenario. Im Jahr 2030 steigt die Stromerzeugung dann auf 328 TWh. Eine Übersicht findet sich in Tabelle 3-84. Die Bedeutung der Windenergie ist in diesem Szenario mit einer Stromerzeugung von ca. 201 TWh und einem Anteil von mehr als 61 % noch höher als im MMS (siehe Tabelle 3-85).

**Tabelle 3-84 Zusammenfassung des Strukturwandel Szenario**

Maßnahme	Typ	Beschreibung/Ziele (Wirkungsbereich)	Umsetzungs- stand (Wirkungs- beginn)	Effekt für Stromaufkommen				
				2010	2015	2020	2025	2030
				TWh				
Verstärkte Förderung erneuerbarer Energien	R, E	Mindestvergütungen für die Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien (Ziel: Anteil von rund 30% bis 2020), Fortgesetzt hohe Förderung in kommenden EEG Novellierungen	ab 2008	108	152	212	272	328
Forschung und Entwicklung	D	Förderung von FuE, einschl. Demonstration	ab 2008	nicht quantifizierbar				
<b>Ungewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen</b>				107	148	212	272	328
<b>Gewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen (ohne Überlagerungseffekte)</b>				107	148	212	272	328

Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI

Dieses Wachstum setzt eine fortgesetzt hohe Förderung der Windenergie im Offshore-Bereich voraus. Darüber hinaus ist eine Beseitigung der Hemmnisse der Windenergie an Land durch verstärkten Netzausbau und günstiger regulatorischer Rahmenbedingungen für das Repowering alter Windenergieanlagen notwendig. Im Rahmen eines solchen ambitionierten Ausbaus der Stromerzeugung erneuerbarer Energien kommt einer verbesserten Systemintegration erneuerbarer Energien eine besondere Bedeutung zu. Weiterhin werden aber auch Mechanismen notwendig, die eine Reaktion der erneuerbaren Energien auf die jeweilige Versorgungslage des Stromversorgungssystems ermöglichen. Hierzu kann insbesondere eine Integration in die Strommärkte gehören.

**Tabelle 3-85 Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Strukturwandel-Szenario**

	2005	2010	2015	2020	2025	2030
TWh						
Wasserkraft	21,5	22,5	23,9	24,3	24,5	24,6
Windenergie Onshore	27,2	47,9	59,9	81,7	91	100,9
Windenergie Offshore	0,0	0,8	12,9	33,8	69	100,8
Fotovoltaik	1,3	6,4	14,6	23,3	32,6	41,7
Geothermie	0,0	0,1	0,6	2,5	5,7	8,8
Biomasse (gas & flüssig)	5,9	15,7	21,9	25,6	26	26,3
Biomasse (fest)	5,4	10,3	13,7	16,3	18,6	20,9
Abfall, biogen	2,1	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3
Summe Erzeugung	63,4	108	151,8	211,8	271,7	328,3
EE-Anteil	10,4%	17,6%	25,8%	37,1%	48,3%	59,5%

Quelle: Nitsch, 2008, Berechnungen Fraunhofer ISI

Eine Darstellung der Differenzen in der Entwicklung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien zwischen dem Strukturwandel-Szenario und dem Mit-Maßnahmen-

Szenario findet sich in Tabelle 3-86. In dieser Darstellung wird noch einmal deutlich, dass der zentrale Zuwachs im Bereich der Stromerzeugung aus Windenergie liegt. So werden im Jahr 2020 ca. 14,3 TWh mehr Strom aus Windenergie erzeugt. Im Jahr 2030 erhöht sich die Differenz auf 86 TWh. Der große Unterschied kommt insbesondere durch einen verstärkten Ausbau der Windenergie im Offshore Bereich zustande.

*Tabelle 3-86 Wirkung weiterer Maßnahmen zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien (Differenz SWS-MMS)*

	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	TWh					
Wasserkraft	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Windenergie Onshore	0,0	1,1	3,7	14,3	20,7	27,3
Windenergie Offshore	0,0	0,4	3,1	0,0	28,3	58,7
Fotovoltaik	0,0	0,5	3,4	6,5	9,9	13,9
Geothermie	0,0	0,1	0,0	1,6	3,9	7,1
Biomasse (gas & flüssig)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Biomasse (fest)	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	4,0
Abfall, biogen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summe Erzeugung	0,0	2,2	10,2	22,4	64,3	111,1

Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI

### **3.2.8 Andere Umwandlungssektoren**

#### **3.2.8.1 Rahmendaten und Maßnahmen**

Im Bereich der anderen Umwandlungssektoren sind vor allem die folgenden Anlagen von Bedeutung:

- Heizwerke
- Raffinerien
- Kokereien

Alle diese Anlagen unterliegen dem EU-Emissionshandelssystem, damit müssen der Preis für EU-Emissionsberechtigungen sowie ggf. die entsprechenden Zuteilungsregelungen berücksichtigt werden.

#### **3.2.8.2 Methodik, Annahmen und Parameter**

Neben den Treibhausgasemissionen der Stromerzeugung müssen für den Umwandlungssektor noch eine Reihe weiterer Verursacherbereiche berücksichtigt werden:

- Heizwerke der Fernwärmeversorgung,
- Raffinerien,
- übrige Anlagen des Umwandlungssektors (Braunkohlengruben, Steinkohlenzechen, Brikettfabriken, Kokereien, andere Umwandlungs- und Veredelungsanlagen).

Im für die Modellierung gewählten Ansatz werden für diese Bereiche die Wärmeerzeugungsanlagen getrennt von den (Industrie-) Kraftwerken des Umwandlungssektors analysiert, da die Entwicklung der industriellen Stromerzeugungsanlagen im Umwandlungssektor nur im Kontext der Entwicklung des gesamten Stromerzeugungssektors bzw. des gesamten Strommarktes sinnvoll untersucht werden kann.

Die hier betrachteten Umwandlungsanlagen werden bei der Integration der Sektorergebnisse für die Endverbrauchssektoren sowie den Stromerzeugungssektor mit dem Energie-Umwandlungs-Sektor-Modell (EnUSEM) von Öko-Institut und Dr. Ziesing modelliert, in dem die verschiedenen Subsektoren des Energieumwandlungssektors (von Raffinerien, Anlagen zur Biokraftstoffherstellung, Braunkohlengruben, Steinkohlenzechen, Brikettfabriken, Kokereien bis zu Heizwerken der öffentlichen Versorgung) über die jeweiligen Nachfragen und Umwandlungseinsätze analysiert werden.

Alle Nachfragegrößen für die übrigen Umwandlungssektoren ergeben sich aus den in den Sektoranalysen ermittelten Energienachfragen, wobei Leitungs- und (stoffliche) Umwandlungsverluste wie auch der nicht-energetische Verbrauch von Primärenergieträgern bei der Integration vollständig berücksichtigt werden.

### 3.2.8.3 Ergebnisse der Projektionen

Die Tabelle 3-87 zeigt die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-, CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen der Wärmeerzeuger in den übrigen Umwandlungssektoren im Überblick. Die Zusammenstellung verdeutlicht, dass die gesamten Treibhausgasemissionen in diesem Sektor klar durch die CO<sub>2</sub>-Emissionen dominiert werden. Wie auch in der Entwicklung von 1990 bis 2005 ergeben sich die Treibhausgasemissionen in den übrigen Umwandlungssektoren einerseits aus dem Niveau der Energienachfragen sowie der Struktur des Energieaufkommens.

*Tabelle 3-87 CO<sub>2</sub>-, CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen der übrigen Umwandlungssektoren im Mit-Maßnahmen- und im Strukturwandel-Szenario, 1990-2020*

	1990	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	kt CO <sub>2</sub> -Äqu.						
CO <sub>2</sub> -Emissionen							
Entwicklung 1990 - 2005	30.821	21.099					
Mit-Maßnahmen-Szenario			20.728	18.068	16.997	16.480	15.700
Strukturwandel-Szenario			20.303	19.419	17.949	16.560	14.788
CH <sub>4</sub> -Emissionen							
Entwicklung 1990 - 2005	40	11					
Mit-Maßnahmen-Szenario			25	38	48	53	55
Strukturwandel-Szenario			24	36	43	47	48
N <sub>2</sub> O-Emissionen							
Entwicklung 1990 - 2005	321	113					
Mit-Maßnahmen-Szenario			206	287	347	379	394
Strukturwandel-Szenario			199	278	324	346	349
Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O							
Entwicklung 1990 - 2005	31.182	21.223					
Mit-Maßnahmen-Szenario			20.958	18.393	17.392	16.911	16.150
Strukturwandel-Szenario			20.527	19.733	18.317	16.953	15.185
Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O				Veränderung ab 1990 in %			
Mit-Maßnahmen-Szenario			-32,8	-41,0	-44,2	-45,8	-48,2
Strukturwandel-Szenario			-34,2	-36,7	-41,3	-45,6	-51,3
Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O				Veränderung ab 2005 in %			
Mit-Maßnahmen-Szenario			-1,2	-13,3	-18,1	-20,3	-23,9
Strukturwandel-Szenario			-3,3	-7,0	-13,7	-20,1	-28,4
Anmerkungen: nur energiebedingte Emissionen in der Abgrenzung des NIR, ohne Kraftwerke der Raffinerien und des übrigen Umwandlungssektors							

Quellen: IKARUS-Modellrechnungen von IEF-STE und Emissionsberechnungen des Öko-Instituts

Die abnehmende Rolle von Kohlen und Kohlenprodukten setzt sich auch im Zeitraum bis 2030 fort, in der Perspektive bis 2030 nimmt aber auch der Aufkommensbeitrag der Mineralölprodukte ab, die teilweise durch Energieeinsparungen, teilweise durch Erdgas und teilweise durch erneuerbare Energien ersetzt werden. Entsprechend verringern sich v.a. der Umwandlungseinsatz und der Eigenverbrauch der Mineralölraffinerien sowie die entsprechenden Emissionen. Während die Bereitstellung von Erdgas im Umwandlungssektor nicht zu zusätzlichem Energieverbrauch und damit zusätzlichen

Emissionen führt<sup>30</sup>, ergibt sich aus der zunehmenden Rolle von Biokraftstoffen ein zusätzlicher Energiebedarf in den Bio-Raffinerien, angesichts des Einsatzes von Erdgas für den Eigenbedarf dieser Umwandlungsanlagen entstehen weitere CO<sub>2</sub>-Emissionen. Das Ausmaß der CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen aus den Umwandlungsanlagen bleibt insgesamt gering.

Als Ergebnis der Veränderungen im Energieträgermix gehen bereits im Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) die Treibhausgasemissionen in den übrigen Umwandlungssektoren von 2005 bis 2030 um etwa 5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. zurück. Infolge der massiven Änderungen im Energieträgeraufkommen im Strukturwandel-Szenario (SWS) verringern sich die Treibhausgasemissionen im Vergleich von SWS und MMS für den Zeitraum 2005 bis 2030 noch weiter um knapp 1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu.

---

<sup>30</sup> Der Verbrauch und die Emissionen der Erdgasverdichterstationen werden gemäß den Konventionen der Treibhausgasinventare dem Verkehrssektor zugerechnet und werden mit den dortigen Ergebnissen bilanziert (vgl. Kapitel 3.6.2).

### 3.3 Primär- und Endenergiebedarf

#### 3.3.1 Primärenergiebedarf

Zur Zusammenführung der sektoralen Analysen zu einem konsistenten Mengengerüst erfolgt im Energieumwandlungssektor-Modell EnUSEM. Damit werden sowohl Konsistenz wie auch methodische Fundierung der Zusammenführung gewährleistet. Die Detailanalysen der Endverbrauchssektoren werden dabei direkt in Form der jeweiligen Endenergienachfrage in das Modell integriert. Dies gilt auch für den Stromsektor, wo die Zusammensetzung der Stromerzeugung und der entsprechende Energieeinsatz aus ELIAS-Rechnungen entnommen wurden. Die anderen Umwandlungssektoren, die im Rahmen des Projekts nicht in Bezug auf Maßnahmen untersucht wurden, sind im Modell explizit abgebildet und reagieren entsprechend auf die veränderten Strukturen der Endenergienachfrage. Durch die Verwendung des Modells werden Mehrfachzählungen vermieden sowie eine technologische Fundierung des gesamten Umwandlungssektors und der Primärenergiebereitstellung unter Berücksichtigung energiepolitischer Rahmenannahmen gewährleistet.

Die im Folgenden dargestellten Bilanzen des Primärenergiebedarfs wurden mit Hilfe des Modells generiert, an einigen Stellen durch Zusatz- und Anpassungsrechnungen ergänzt und folgen insgesamt dem Schema der Energiebilanzen.<sup>31</sup>

---

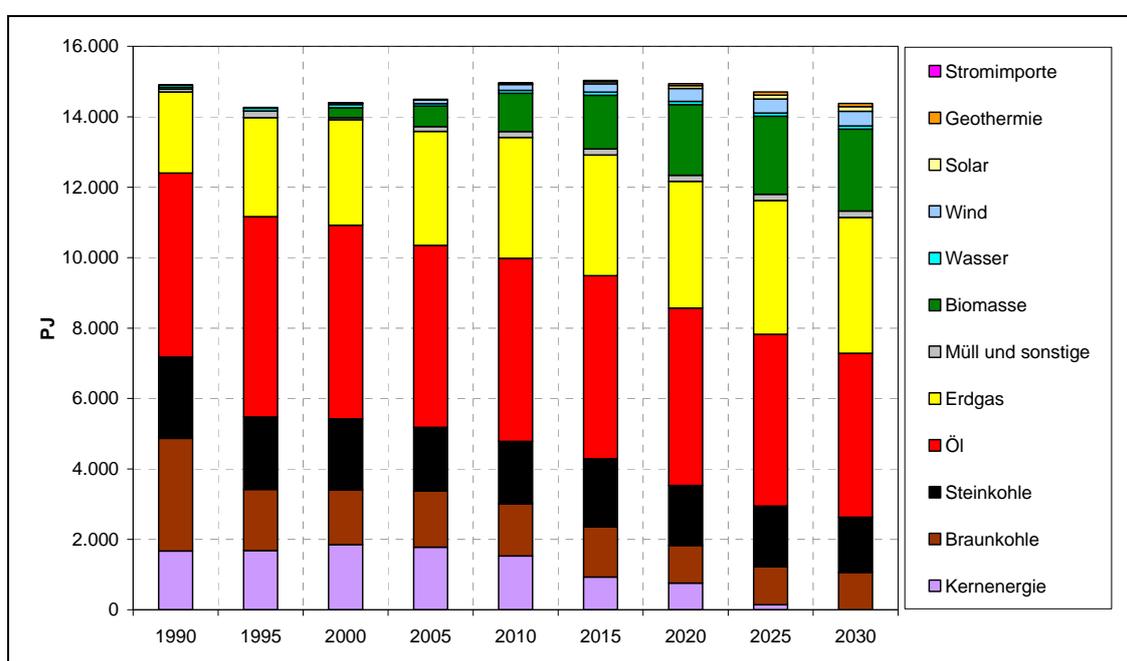
<sup>31</sup> Um die Vergleichbarkeit mit dem Mengengerüst für die Emissionsermittlung zu ermöglichen, ist auf die folgenden Unterschiede zwischen der Systematik der Emissionsinventarisierung und der Systematik der Energiebilanzen hinzuweisen: Erstens wird in der Systematik der Energiebilanz beim Endenergieeinsatz der gesamte Energiebedarf des Flugverkehrs, also auch des internationalen Flugverkehrs bilanziert. Dagegen wird der internationale Seeverkehr weder beim Endenergieeinsatz noch beim Primärenergieverbrauch (im Inland), sondern bei den Hochseebunkerungen erfasst. Bei der Emissionsinventarisierung werden dagegen der internationale Luft- und Seeverkehr nur nachrichtlich ausgewiesen. Zweitens errechnet sich in der Systematik der Energiebilanz der Endenergiebedarf des Verarbeitenden Gewerbes und des Übrigen Bergbaus (im Folgenden: Industrie) aus dem direkten Endenergieeinsatz in der Industrie sowie dem der Wärmeerzeugung zuzurechnenden Brennstoffeinsatz in den industriellen Heizkraftwerken. Für die Emissionsermittlung werden dem Sektor Industrie aber die gesamten Energieeinsätze in Industriekraftwerken zugerechnet.

Um eine möglichst umfassende Vergleichbarkeit der Energiedaten zu gewährleisten wurden für die Ermittlung der Energiebedarfsdaten die nachstehenden Konventionen getroffen bzw. Anpassungsrechnungen vorgenommen:

Der Energieverbrauch des internationalen Seeverkehrs wird bei der Primärenergiebetrachtung nicht berücksichtigt. Der Energieverbrauch sowohl des nationalen als auch des internationalen Luftverkehrs wird dagegen in die Primärenergieermittlung voll einbezogen. Der Energieverbrauch des gesamten internationalen (See- und Luft-) Verkehrs wird weiterhin bei der Endenergie gesondert ausgewiesen, bei der Summenbildung wird jedoch – wenn nicht explizit anders ausgewiesen – nur der Endenergieverbrauch des internationalen Luftverkehrs berücksichtigt. Der Energieeinsatz in den Industriekraftwerken wird in einem Verfahren, das sich an die bei der Erstellung der deutschen Energiebilanzen verwendete Zerlegungsmethode anlehnt, differenziert in den Brennstoffeinsatz für die KWK-Wärmeerzeugung einerseits und die Stromerzeugung andererseits. Die der Wärmeerzeugung in Industriekraftwerken zuzurechnenden Brennstoffmengen werden dann konventionsgemäß dem industriellen Endenergieverbrauch zugerechnet. Obwohl aufgrund vielfältiger Abgrenzungsprobleme die Werte der Energiebilanz nicht vollständig reproduziert werden konnten, ergibt sich insgesamt ein mit der Energiebilanz relativ gut vergleichbares Mengengerüst.

In diesem Kontext ist anzumerken, dass hinsichtlich der Entwicklung des Primärenergieverbrauchs eine systematische Verzerrung durch die verschiedenen Konventionen der Energiestatistik zu berücksichtigen ist. So wird die Kernenergie nach der verwendeten Wirkungsgradmethode per Konvention primärenergieseitig mit einem Faktor 3 bewertet, wohingegen v.a. erneuerbare Energieträger, abgesehen von Geothermie (hier erfolgt die primärenergieseitige Bewertung mit dem Faktor 10) und Biomasse, mit einem hypothetischen Wirkungsgrad von 100 % in die Primärenergiebilanz eingehen.<sup>32</sup> Tendenziell sinkt somit der PEV aufgrund der unterschiedlichen primärenergieseitigen Bewertung der nicht-fossilen Energieträger.

Abbildung 3-29 Primärenergiebedarf nach Energieträgern im Mit-Maßnahmen-Szenario, 2005-2030



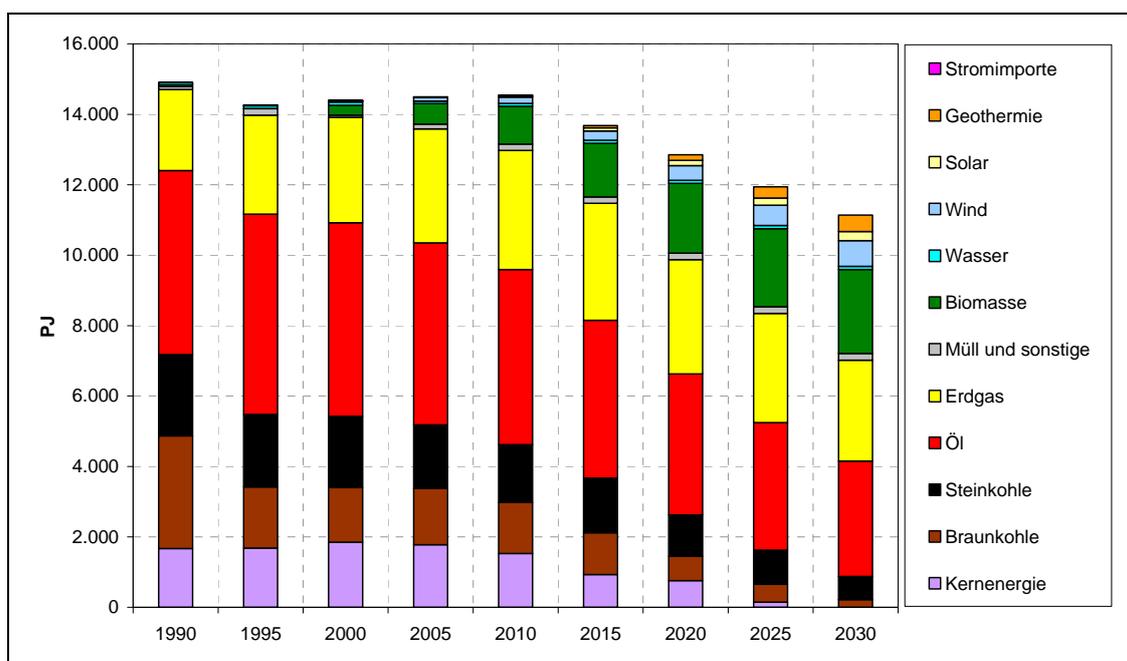
Quellen: Berechnungen Öko-Institut und Dr. Ziesing

Der Primärenergiebedarf sinkt im Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) von etwa 14.500 PJ im Jahr 2005 auf ca. 14.400 PJ im Jahr 2030 (-0,6 %). Damit einher geht eine Verschiebung der Struktur des Primärenergiebedarfs, wie Abbildung 3-29 zeigt. Der Verbrauch von Kernenergie, Mineralölen und Kohlen nimmt zwischen 2005 und 2020 deutlich ab. So sinkt der Primärenergiebedarf von Mineralölprodukten um etwa 510 PJ über den Betrachtungszeitraum und der Verbrauch von Kohlen geht um etwa 780 PJ zurück. Der Einsatz der Kernenergie geht aufgrund der zwischen Bundesregierung und den Betreibern von Kernkraftwerken geschlossenen Ausstiegsvereinbarung zurück und reduziert sich bis 2030 auf Null. Der Erdgasverbrauch hingegen wächst über den gesamten Zeitraum von 3.240 PJ in 2005 auf knapp 3.860 PJ in 2030 und

<sup>32</sup> Auch der Stromaußenhandel wird primärenergieseitig mit einem Wirkungsgrad von 100 % bewertet.

vergrößert damit auch seinen relativen Anteil am Primärenergiebedarf über die Zeit. Ein starker Zuwachs ist vor allem bei den erneuerbaren Energieträgern festzustellen, wo sich zwischen dem Basisjahr 2005 und dem Jahr 2030 etwa ein Anstieg des Aufkommens um knapp den Faktor 4 einstellt. In hohem Maße tragen hierzu Wind und vor allem Biomasse bei. Mit etwa 2.330 PJ im Jahr 2030 trägt die Biomasse mit knapp 76 % zum Einsatz erneuerbarer Energieträger von insgesamt ca. 3.060 PJ bei (siehe dazu Kapitel 3.2.7.5.1). Den größten Einsatzbereich von Biomasse (einschließlich des organischen Anteils im Abfall) bildet dabei mit ca. 1.020 PJ der Energiesektor (Kraftwerke, Heizwerke und Bio-Raffinerien), gefolgt vom Verkehrssektor (etwa 370 PJ) sowie privaten Haushalten und GHD (ca. 280 PJ). Wind ist im Jahr 2020 mit fast 420 PJ der zweitwichtigste erneuerbare Energieträger. Die verbleibenden knapp 230 PJ verteilen sich im Wesentlichen auf Wasserkraft, Solarenergie sowie Umgebungs- und Erdwärme. Insgesamt ergibt sich im MMS ein Anteil erneuerbarer Energie am gesamten Primärenergieaufkommen von 17,4 % im Jahr 2020 und von 21,3 % im Jahr 2030.

Abbildung 3-30 Primärenergiebedarf nach Energieträgern im Strukturwandel-Szenario, 2005-2030

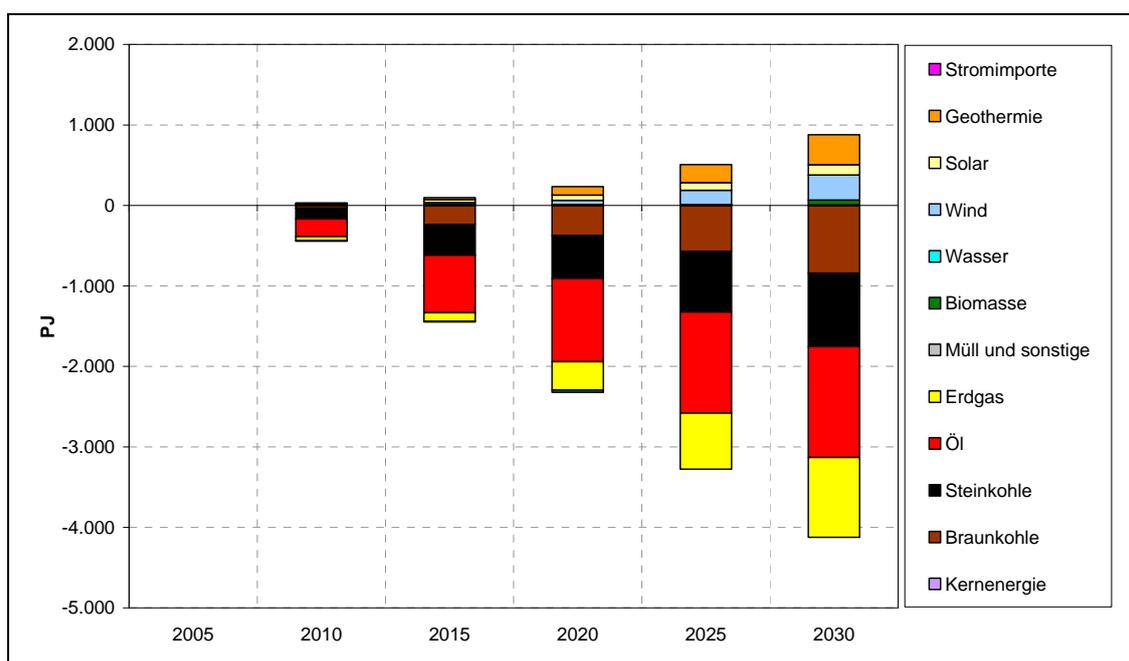


Quellen: Berechnungen Öko-Institut und Dr. Ziesing.

Der Primärenergiebedarf geht im Strukturwandel-Szenario (SWS) erwartungsgemäß deutlich stärker als im MMS zurück und zwar von etwa 14.500 PJ im Jahr 2005 auf ca. 11.100 PJ im Jahr 2030, was einer Minderung um 23 % entspricht. Es werden dabei vor allem weniger Kohle und Mineralöl eingesetzt. Aber auch der Erdgasverbrauch geht von 2005 bis 2030 um ca. 12 % zurück, der Anteil von Erdgas am gesamten Primärenergieaufkommen vergrößert sich aber gleichwohl noch leicht von 22,4 % im Jahr 2005 auf 25,7 % im Jahr 2030. Ein noch stärkerer Zuwachs als im MMS findet bei den erneuerbaren Energieträgern statt, wobei im Jahr 2030 der Anteil der Erneuerbaren auf

fast 35 % bzw. auf über 3.900 PJ ansteigt, was im Vergleich zum Jahr 2005 einer Steigerung um den Faktor 5 entspricht. Vor allem Biomasse trägt mit 2.365 PJ – dies entspricht einem Anteil am gesamten Einsatz erneuerbarer Energien von etwa 61 % – zu diesem Anstieg bei. Unter den erneuerbaren Energieträgern folgt Wind mit etwa 730 PJ (Anteil knapp 19 %) auf dem zweiten Rang. Die Energieträger Wasserkraft, Solar-energie und Umweltwärme bzw. Geothermie tragen zusammen mit ca. 815 PJ bei. Der Anteil der erneuerbaren Energien am gesamten Primärenergieaufkommen erhöht sich bis zum Jahr 2020 auf 21,7 % sowie 35,3 % im Jahr 2030.

Abbildung 3-31 Unterschiede im Primärenergiebedarf zwischen Strukturwandel-Szenario und Mit-Maßnahmen Szenario, 2005-2030



Quellen: Berechnungen Forschungszentrum Jülich.

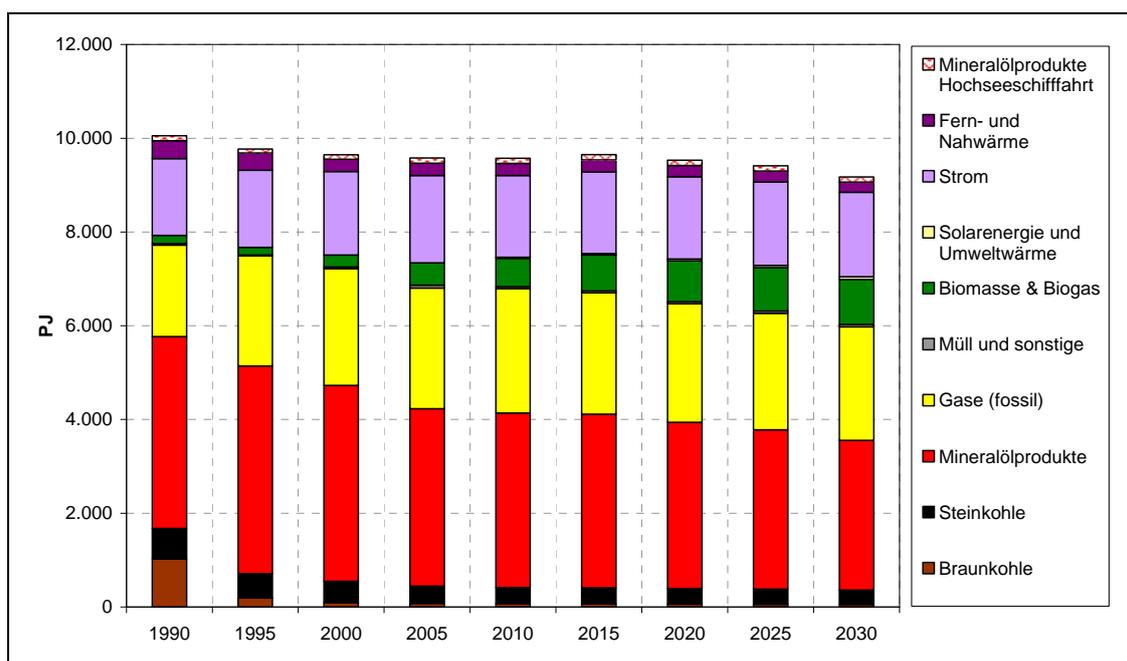
Die Differenzen beim Primärenergiebedarf zwischen dem SWS und MMS zeigt Abbildung 3-31. Neben den deutlichen Energieeinsparungen (Erdgas, Öl) ist hier vor allem auf die Verdrängung von Kernenergie und Kohle durch den deutlich stärker von (teilweise fluktuierenden) erneuerbaren Energien geprägten Kraftwerkspark sowie die im Vergleich zum MMS wegfallenden Neuinvestitionen in fossile Kraftwerke, aber auch auf die o.g. verzerrenden Effekte der (internationalen) statistischen Konventionen hinzuweisen.

### 3.3.2 Endenergiebedarf

Der Endenergiebedarf insgesamt ergibt sich direkt aus der Summierung der Endenergieverbräuche sowie der außerhalb des Modells durchgeführten sektoralen Anpassungsrechnungen.

Die nach Energieträgern differenzierte Entwicklung für das Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) ist in Abbildung 3-32 dargestellt.

Abbildung 3-32 Entwicklung des gesamten Endenergiebedarfs nach Energieträgern im Mit-Maßnahmen-Szenario, 2005-2030



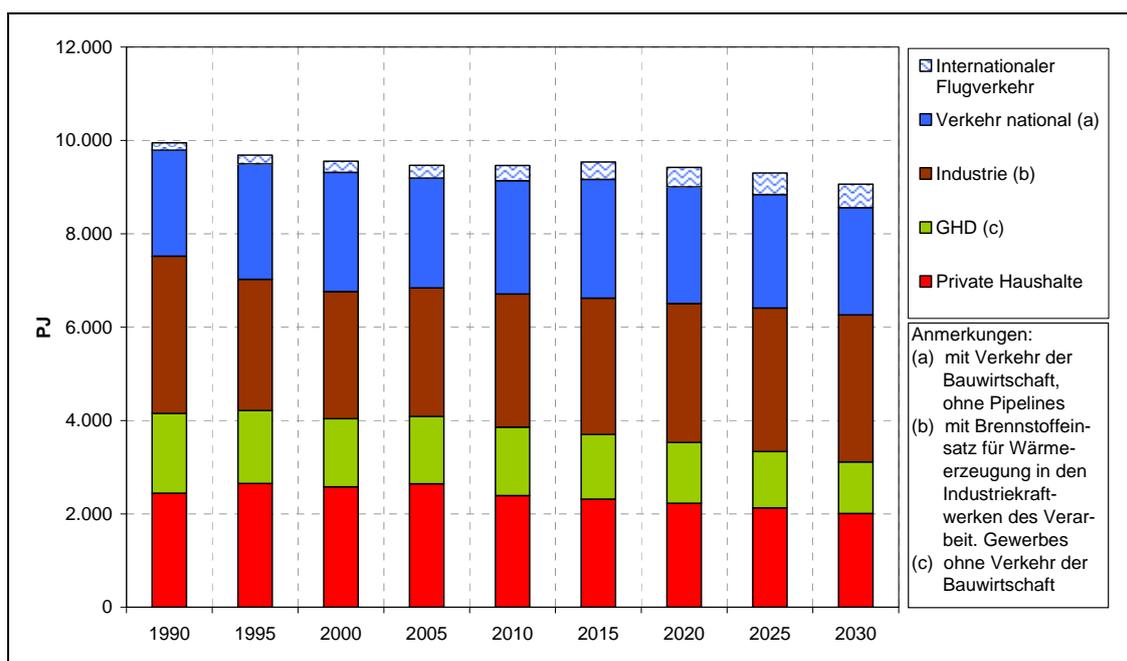
Quellen: Fraunhofer ISI, Forschungszentrum Jülich, Öko-Institut.

Der gesamte Endverbrauch (in der – näherungsweise – Abgrenzung der Energiebilanz) ist dabei leicht rückläufig. Er sinkt von 9.500 PJ im Jahr 2005 auf unter 9.100 PJ im Jahr 2030, was einem Rückgang von 4,3 % entspricht. Wie auch beim Primärenergiebedarf ist die Entwicklung für die einzelnen Energieträgergruppen sehr unterschiedlich. Der Verbrauch von Kohlen, der im Wesentlichen auf den Sektor Industrie entfällt (hier einschließlich der dortigen Stromerzeugung) – GHD und Haushalte tragen hierzu nur in geringem Umfang bei – geht über den Betrachtungszeitraum um etwa 19 % zurück. Bei den Mineralölprodukten ist über den Zeitraum 2005 bis 2030 ein deutlicher Rückgang des Verbrauchs um etwa 16 % zu beobachten, wobei sich dieser Rückgang als Saldo eines starken Rückgangs im Bereich von Heizöl, Ottokraftstoff sowie Diesel und einem deutlichen Zuwachs von Flugtreibstoffen ergibt. Bei den fossilen Gasen ist hingegen für den Zeitraum 2005 bis 2030 mit etwa 150 PJ nur ein leichter Rückgang des Endenergiebedarfs um etwa 6 % zu verzeichnen. Dabei fallen die Beiträge der einzelnen Sektoren unterschiedlich aus. Während der Endenergiebedarf in der Industrie um knapp 200 PJ ansteigt, sinkt der Bedarf im Haushalts- und im GHD-Sektor um etwa 190 PJ bzw. 180 PJ leicht ab. Aufgrund von Wärmeschutzmaßnahmen im Ge-

bäudebereich (Sektoren Haushalte und GHD) verringert sich die Nachfrage nach Fernwärme über den Zeitraum 2005 bis 2030 um knapp 20 %. Der Stromverbrauch in den Endverbrauchssektoren sinkt insgesamt leicht (-17 TWh in 2030 gegenüber 2005). Entgegen den Trends bei den fossilen Energieträgern nimmt der Endenergiebedarf erneuerbarer Energieträger stark zu. Zwischen 2005 und 2030 ist eine Erhöhung um etwa den Faktor 2,1, von knapp 480 PJ auf etwa 1.020 PJ festzustellen. Der Großteil dieses Zuwachses entfällt auf den Einsatz von Biokraftstoffen im Verkehrssektor, der um etwa 300 PJ wächst (Biodiesel und Bioethanol). Die Zuwächse in den Sektoren Haushalte und GHD sind im Vergleich dazu moderat. Neben Biomasse zu Heizzwecken sind vor allem Solarenergie und Umgebungswärme in diesen beiden Sektoren für den Zuwachs verantwortlich.

Der Anteil erneuerbarer Energien am gesamten Endenergieaufkommen steigt bis zum Jahr 2020 auf einen Anteil von etwa 10 % und bis 2030 auf 11 %. In der Abgrenzung der Erneuerbare-Energien-Richtlinie der EU betragen die bereinigten Anteile am Endenergieverbrauch<sup>33</sup> für die Jahre 2020 und 2030 etwa 16 % bzw. 19 %.

Abbildung 3-33 Sektorale Aufteilung des gesamten Endenergieverbrauchs im Mit-Maßnahmen-Szenario, 2005-2030



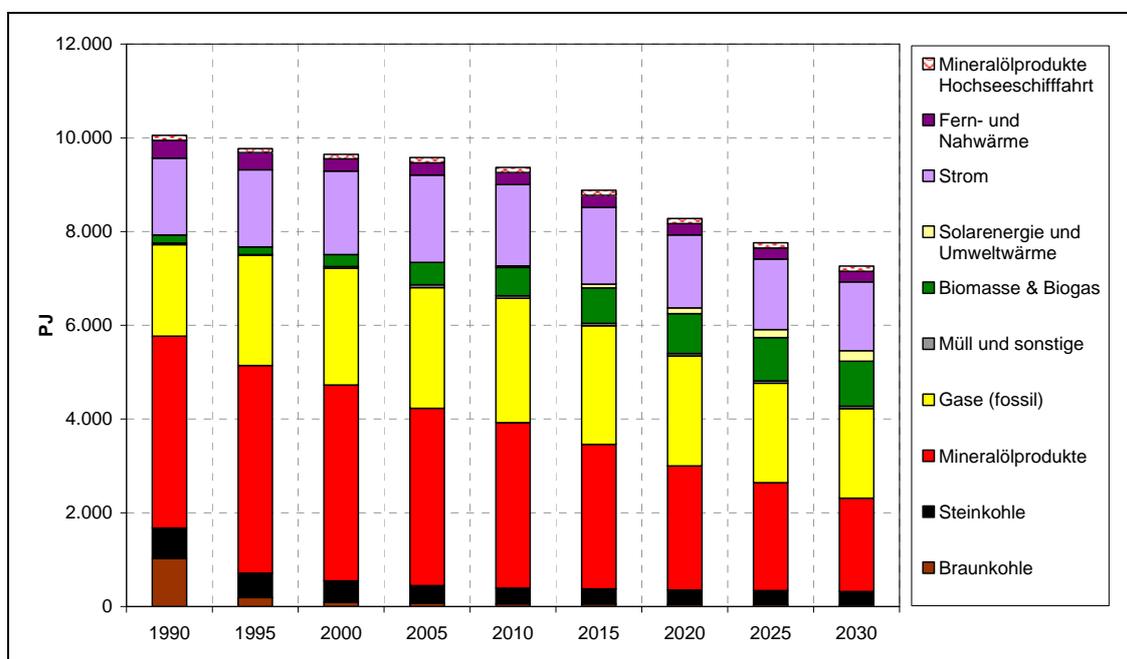
Quellen: Fraunhofer ISI, Forschungszentrum Jülich, Öko-Institut.

<sup>33</sup> Hierbei wurde ein grobes Näherungsverfahren angewendet, das sich am grundsätzlichen methodischen Ansatzpunkt der Erneuerbare-Energien-Richtlinie orientiert. Der Anteil erneuerbarer Energien ergibt sich danach aus dem Anteil der in den Endverbrauchssektoren direkt eingesetzten erneuerbaren Energieträger und dem Anteil des Strom- und Fernwärmeaufkommens für die Endverbrauchssektoren, der – proportional zum jeweiligen Aufkommen – ebenfalls den erneuerbaren Energien zugerechnet werden kann.

Abbildung 3-33 zeigt die Entwicklung der sektoralen Aufteilung der Endenergie bis 2030. Die insgesamt leicht rückläufige Tendenz des Endenergieverbrauchs im Gesamtzeitraum von 2005 bis 2030 ergibt sich dabei aus verschiedenen und teilweise gegenläufigen Trends.

Der Endenergiebedarf der privaten Haushalte geht von 2005 bis 2030 um ca. 640 PJ bzw. etwa 24 % zurück, für den GHD-Sektor beläuft sich der Rückgang auf knapp 23 % (335 PJ). Der Energieverbrauch des nationalen Verkehrs geht um knapp 50 PJ bzw. etwas mehr als 2 % zurück. Der Energieverbrauch des internationalen Luftverkehrs wächst dagegen um etwa 81 % (225 PJ). Für den gesamten Endenergieverbrauch der Industrie ergibt sich für den Zeitraum 2005 bis 2030 ein Wachstum von knapp 400 PJ (14 %).

Abbildung 3-34 Entwicklung des gesamten Endenergiebedarfs nach Energieträgern im Strukturwandel-Szenario, 2005-2030



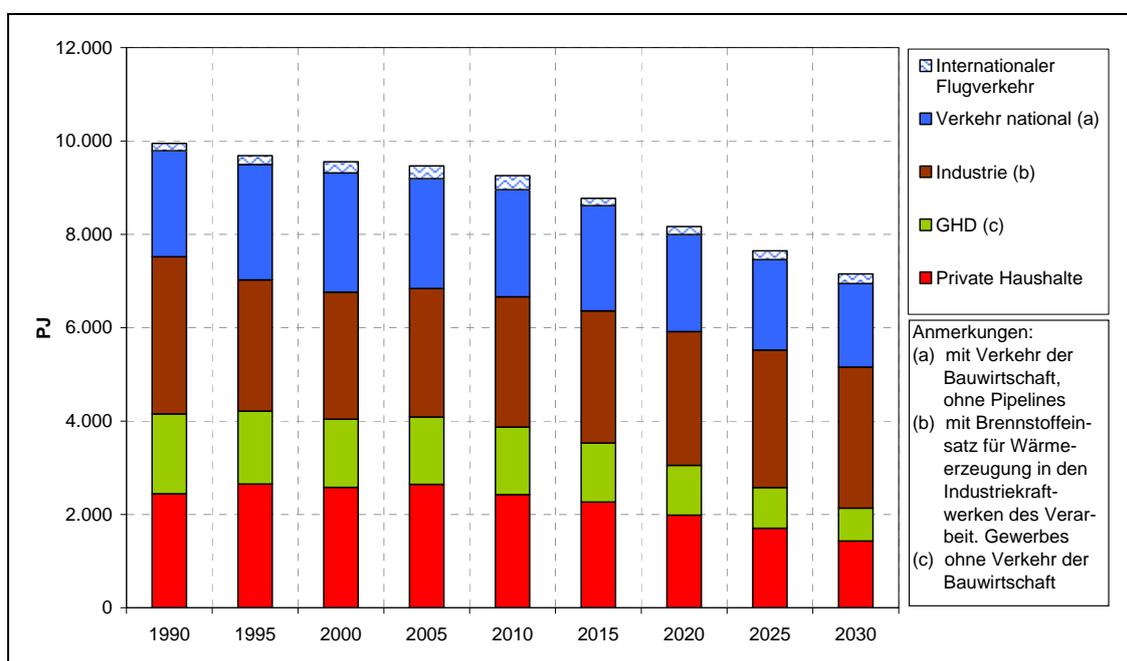
Quellen: Fraunhofer ISI, Forschungszentrum Jülich, Öko-Institut.

Der gesamte Endenergiebedarf im Strukturwandel-Szenario (SWS) geht deutlich stärker zurück als im MMS. Er sinkt von ca. 9.500 PJ im Jahr 2005 auf etwa 7.150 PJ im Jahr 2030, dies entspricht einem Rückgang von etwa 25 % (Abbildung 3-34). Im Vergleich zum MMS bedeutet dies eine Energieeinsparung um weitere 2.020 PJ oder etwa 21,6 % im Jahr 2030 (Abbildung 3-36 bzw. Abbildung 3-37). Im Zeitraum 2005 bis 2030 nimmt der Anteil an Mineralölprodukten am gesamten Endenergeträgeraufkommen von ca. 40 % auf ca. 28 % ab, während der Anteil erneuerbarer Energien von 5 % auf ca. 17 % ansteigt. Der Anteil der Gase liegt – nach einem zwischenzeitlichen Wachstum auf ca. 29 % - im Jahr 2030 mit 26,6 % leicht unter dem Niveau von 2005 (27,2 %). Die Anteile von Fern- und Nahwärme bleiben mit etwa 3 % im Wesentlichen

unverändert. Der Strombedarf geht um knapp fast 110 TWh zurück, wobei der Stromanteil im Endenergiebedarf um etwa einen Prozentpunkt auf etwa 21 % ansteigt.

Das Endenergieangebot der erneuerbaren Energien steigt von 2005 bis 2030 um etwa 710 PJ an. Im Vergleich zum MMS entspricht dies einer weiteren Ausweitung von etwa 170 PJ. Daraus resultiert ein zunehmender Endenergieanteil der erneuerbaren Energien, der bis zum Jahr 2020 auf 12 % und bis zum Jahr 2030 auf etwa 17 % steigt. In der Abgrenzung der Erneuerbare-Energien-Richtlinie der EU betragen die entsprechend bereinigten Anteile am Endenergieverbrauch für das Jahre 2020 rund 18 % und für 2030 etwa 25 %.

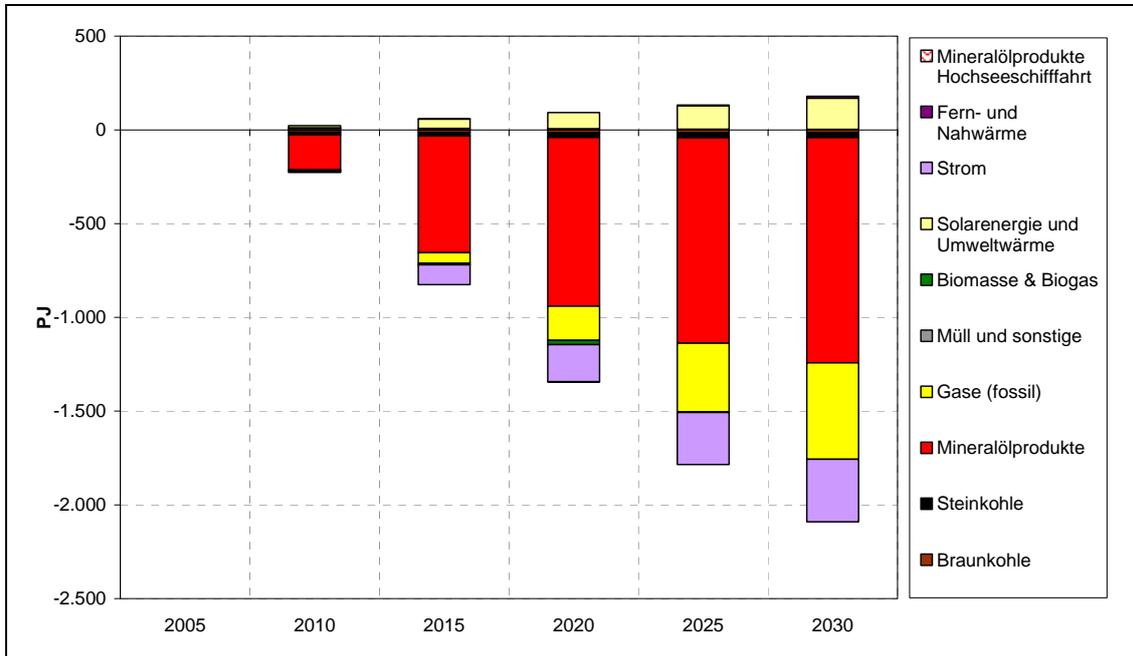
Abbildung 3-35 *Sektorale Aufteilung des gesamten Endenergiebedarfs im Strukturwandel-Szenario, 2005-2030*



Quellen: Fraunhofer ISI, Forschungszentrum Jülich, Öko-Institut.

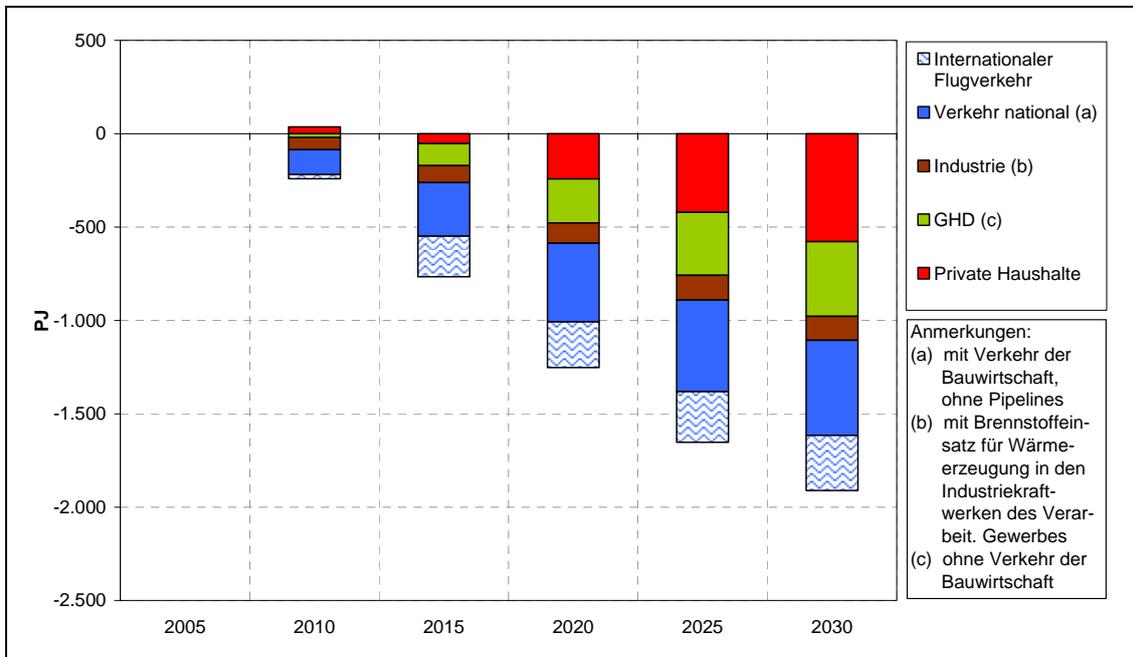
Abbildung 3-35 verdeutlicht die Entwicklung der sektoralen Aufteilung der Endenergie bis 2030. Während der Endenergiebedarf für das Jahr 2030 im Verkehrssektor (nationaler Verkehr) um etwa 24 % (ca. 560 PJ), im Haushaltssektor um 46 % (knapp 1.220 PJ) und im GHD-Sektor um 51 % (735 PJ) niedriger liegt als im Jahr 2005, steigt der Endenergiebedarf in der Industrie um etwa 10 % (etwa 270 PJ). Herauszuheben ist für das SWS weiterhin, dass der Energiebedarf für den internationalen Luftverkehr von 2005 bis 2030 um etwa 70 PJ bzw. 25 % zurückgeführt werden kann.

Abbildung 3-36 Differenz des Endenergiebedarfs zwischen Strukturwandel-Szenario und Mit-Maßnahmen-Szenario nach Energieträgern, 2005-2030



Quellen: Fraunhofer ISI, Forschungszentrum Jülich, Öko-Institut.

Abbildung 3-37 Unterschiede im sektoralen Endenergiebedarf zwischen dem Strukturwandel-Szenario und dem Mit-Maßnahmen Szenario, 2005-2030



Quellen: Fraunhofer ISI, Forschungszentrum Jülich, Öko-Institut.

Wie die vergleichenden Darstellungen der Endenergieszenerarien für das SWS und das MMS (Abbildung 3-36 und Abbildung 3-37) zeigen, liegt der Endenergiebedarf im Jahr 2030 im SWS deutlich niedriger als im MMS. Insgesamt werden im MMS im Jahr 2030 etwa 1.900 PJ (21%) Endenergie weniger nachgefragt als im MMS.

Dabei nimmt – entgegen den Trends bei den fossilen Energieträgern – der Endenergiebedarf erneuerbarer Energieträger deutlich zu. Im Jahr 2030 liegt im SWS der Einsatz von Erneuerbaren um fast 170 PJ oder um 17 % höher als im MMS. Über vier Fünftel des Zuwachses beim Zuwachs der erneuerbaren Energien in den Endverbrauchssektoren entfällt auf den Haushaltssektor. Der Zuwachs im GHD-Sektor repräsentiert ca. 17% des Gesamtzuwachses, im Industrie- und im Verkehrssektor geht der Einsatz erneuerbarer Energien, bedingt v.a. durch die massiven Effizienzzuwächse – absolut sogar zurück.

Im SWS liegt im Jahr 2030 der Endenergiebedarf der Sektoren Haushalt, GHD und (nationaler) Verkehr um 29 %, 36 % bzw. 22 % niedriger als im MMS (Abbildung 3-37). Im Industriesektor ergibt sich ein Rückgang von etwa 4 %.

Für den internationalen Flugverkehr ergibt sich für das SWS im Vergleich zum MMS ein Rückgang von 59 %, dies entspricht einem Energieverbrauchsunterschied von 295 PJ. Durch diesen massiven Rückgang der Endenergienachfrage für den internationalen Flugverkehr ergibt sich für diesen Sektor im SWS auch ein absoluter Verbrauchsrückgang von etwa 25 %.

### 3.4 Gesamte energiebedingte Treibhausgasemissionen

#### 3.4.1 Emissionen aus Verbrennungsprozessen

Die summarische Entwicklung der CO<sub>2</sub>-, CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen aus Verbrennungsprozessen für das MMS und das SWS sind – einschließlich der dem internationalen Verkehr zuzurechnenden Emissionen – in Tabelle 3-88 zusammengestellt. Von 2005 bis 2030 werden im MMS Emissionsminderungen von 14,3 % erzielt, im SWS wird der Ausstoß von Treibhausgasen um etwas mehr als 53 % vermindert. Die dominierende Rolle spielen dabei die verbrennungsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen, die CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen aus Verbrennungsprozessen bleiben von untergeordneter Bedeutung. Von 2005 bis 2015 werden im MMS Emissionsminderungen aus Verbrennungsprozessen von ca. 24 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. erwartet, im SWS erhöht sich dieser Betrag auf etwa 137 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. Für 2030 werden im Vergleich zu 2005 Emissionsminderungen von knapp 120 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. (MMS) bzw. etwa 446 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. (SWS) erwartet. Dass solche Minderungsbeiträge für die Erfüllung der diskutierten Emissionsziele für das Jahr 2020 (30 % bzw. 40 % unter dem Niveau von 1990) notwendig sind, zeigt der Vergleich mit den Ausgangswerten für das Jahr 1990. Die verbrennungsbedingten Treibhausgasemissionen (als für Deutschland maßgeblicher Quellbereich) werden im MMS von 1990 bis 2020 um knapp 27 % zurückgeführt, im SWS beträgt der entsprechende Minderungsbeitrag 60,2 %.

Tabelle 3-88 Entwicklung der CO<sub>2</sub>-, CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen aus Verbrennungsprozessen im Mit-Maßnahmen- und im Strukturwandel-Szenario, 1990-2030

	1990	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	kt CO <sub>2</sub> -Äqu.						
CO <sub>2</sub> -Emissionen							
Entwicklung 1990 - 2005	967.469	827.756					
Mit-Maßnahmen-Szenario			800.455	803.335	734.946	737.185	708.433
Strukturwandel-Szenario			768.408	691.120	559.223	484.025	384.586
CH <sub>4</sub> -Emissionen							
Entwicklung 1990 - 2005	4.554	1.209					
Mit-Maßnahmen-Szenario			1.202	1.246	1.248	1.263	1.255
Strukturwandel-Szenario			1.177	1.219	1.210	1.218	1.210
N <sub>2</sub> O-Emissionen							
Entwicklung 1990 - 2005	7.957	6.915					
Mit-Maßnahmen-Szenario			6.922	7.366	6.846	7.006	6.786
Strukturwandel-Szenario			6.604	6.140	5.096	4.616	3.838
Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O							
Entwicklung 1990 - 2005	979.980	835.880					
Mit-Maßnahmen-Szenario			808.579	811.946	743.040	745.453	716.474
Strukturwandel-Szenario			776.190	698.479	565.529	489.859	389.634
Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O				Veränderung ab 1990 in %			
Mit-Maßnahmen-Szenario			-17,5	-17,1	-24,2	-23,9	-26,9
Strukturwandel-Szenario			-20,8	-28,7	-42,3	-50,0	-60,2
Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O				Veränderung ab 2005 in %			
Mit-Maßnahmen-Szenario			-3,3	-2,9	-11,1	-10,8	-14,3
Strukturwandel-Szenario			-7,1	-16,4	-32,3	-41,4	-53,4
Anmerkungen: nur energiebedingte Emissionen in der Abgrenzung des NIR; mit CO <sub>2</sub> -Emissionen aus der Rauchgasentschwefelung sowie mit Schmierstoffverbrauch und mit internationalem Flugverkehr und Hochseeschifffahrt							

Quellen: UBA (2008 a+b), Berechnungen von Fraunhofer ISI, IEF-STE und Öko-Institut.

### 3.4.2 Flüchtige Treibhausgas-Emissionen des Energiesektors

#### 3.4.2.1 Rahmendaten und Maßnahmen

Ein wesentlicher Teil der flüchtigen CH<sub>4</sub>-Emissionen aus dem Energiesektor entstammt dem Steinkohlenbergbau. Mit der sog. kohlepolitischen Verständigung vom 7. Februar 2007 wird eine Reihe von Vereinbarungen zum Auslaufen der deutschen Steinkohlenförderung getroffen, unter denen die folgenden Punkte für die Entwicklung der deutschen Treibhausgasemissionen von Bedeutung sind<sup>34</sup>:

- Rückführung der deutschen Steinkohlenproduktion auf 12 Mio. t im Jahr 2012;
- Beendigung des deutschen Steinkohlenbergbaus, voraussichtlich bis 2018;
- Überprüfung der Vereinbarung zum Auslaufen der Steinkohlenförderung in Deutschland auf Grundlage eines Berichts im Jahr 2012.

Vor dem Hintergrund dieser Vereinbarung wird sowohl im Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) als auch im Strukturwandel-Szenario (SWS) von einer Minderung der deutschen Steinkohlenförderung auf 12 Mio. Jahrestonnen im Jahr 2012 sowie einer Beendigung des deutschen Steinkohlenbergbaus im Jahr 2018 ausgegangen, was sich entsprechend auf die Entwicklung der flüchtigen CH<sub>4</sub>-Emissionen aus dem aktiven Steinkohlenbergbau auswirkt.

#### 3.4.2.2 Methodik

Die flüchtigen Emissionen aus dem Energiesektor – für Deutschland betrifft dies nur den Ausstoß von CH<sub>4</sub> – ergeben sich ganz überwiegend aus den Mengengerüsten für die energiewirtschaftlichen Aktivitäten in den verschiedenen Bereichen:

- Die Emissionen aus dem aktiven Kohlenbergbau ergeben sich aus den Volumina der Stein- und Braunkohlenförderung sowie der Grubengasnutzung.
- Die Emissionen aus der Ölförderung ergeben sich vor allem aus den Einsatzmengen der verschiedenen Mineralölprodukte.
- Die Emissionen aus der Erdgasproduktion und -verteilung sind an die einheimische Förderung sowie die Einsatzmengen in den verschiedenen Sektoren gekoppelt.

Für die Emissionsprojektion wurde weitgehend auf die bei der Inventarerstellung verwendeten Methoden abgestellt, so dass sich die flüchtigen CH<sub>4</sub>-Emissionen aus dem Energiesektor vor allem in Abhängigkeit von den unterstellten energiewirtschaftlichen Entwicklungen ergeben.

---

<sup>34</sup> Eckpunkte einer kohlepolitischen Verständigung von Bund, Land Nordrhein-Westfalen (NRW) und Saarland, RAG AG und IGBCE. 7. Februar 2007.

### 3.4.2.3 Annahmen und Parameter

Neben dem nachfragegetriebenen Aufkommen für die verschiedenen Energieträger wurden die folgenden Aspekte berücksichtigt:

1. Für den Emissionsbeitrag aus dem aktiven Steinkohlenbergbau ist die Entwicklung der Fördermenge entscheidend. Hier wurde davon ausgegangen, dass sich die Förderung in deutschen Bergwerken bis 2012 auf 12 Mio. t verringert und dann bis zum Jahr 2018 vollständig eingestellt wird.
2. Die CH<sub>4</sub>-Emissionen aus den stillgelegten Steinkohlenbergwerken werden für die (Ex post-) Inventarisierung anlagenspezifisch gemessen bzw. ermittelt. In den letzten Jahren sind hier erhebliche Emissionsminderungen erfolgt. Für den Projektionszeitraum wurden die Emissionen auf dem aktuellen (niedrigen) Niveau fortgeschrieben.
3. Für die Förderung von Erdöl und Erdgas in Deutschland wurden die bei EWI/Prognos (2006) zu Grunde gelegten Mengengerüste verwendet und damit implizit unterstellt, dass Veränderungen in den Verbrauchsniveaus ausschließlich Veränderungen bei den Erdöl- und Erdgasimporten zur Folge haben.

Darüber hinaus bilden vor allem die Mengengerüste für die Öl- und Gasnachfrage (Kapitel 3.2.6) die zentralen Bestimmungsgrößen für die flüchtigen CH<sub>4</sub>-Sektoren des Energiesektors.

### 3.4.2.4 Ergebnisse der Projektionen

Tabelle 3-89 zeigt die Entwicklung der flüchtigen CH<sub>4</sub>-Emissionen aus den Energiesektoren für das MMS. Der gesamte Emissionsrückgang von ca. 6 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. im Zeitraum 2005 bis 2030 ist dabei geprägt von der Rückführung des deutschen Steinkohlenbergbaus, für den sich als Nettoeffekt (aus rückläufigen Emissionen im aktiven Bergbau und konstanten Emissionen aus den stillgelegten Bergwerken) eine Minderung von ca. 5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. ergibt. Eher geringfügige Änderungen der CH<sub>4</sub>-Emissionen ergeben sich weiterhin für die Minderung der CH<sub>4</sub>-Emissionen aus der Erdgasverteilung, in der der Rückgang des Erdgaseinsatzes in den privaten Haushalten sowie im GHD-Sektor im Zeitraum 2005 bis 2030 auch zu verminderten Emissionen von ca. 1,3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. führt.

Insgesamt gehen die flüchtigen CH<sub>4</sub>-Emissionen des Energiesektors im Zeitraum 2005 bis 2020 um ca. 55 % zurück.

**Tabelle 3-89** Entwicklung der flüchtigen CH<sub>4</sub>-Emissionen aus dem Energiesektor im Mit-Maßnahmen-Szenario, 2000-2030

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	kt						
Aktiver Kohlenbergbau							
Steinkohlen-Tiefbau	439,8	254,5	183,9	102,2	0,0	0,0	0,0
Steinkohlen-Aufbereitung	19,3	14,3	10,4	5,8	0,0	0,0	0,0
Braunkohlen-Tagebau	1,8	2,0	1,8	1,7	1,3	1,3	1,3
Umwandlung von Kohle	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3
Stillgelegte Zechen	129,1	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
Ölförderung und -bereitstellung							
Transport	3,4	3,9	3,2	2,6	1,9	1,3	0,6
Lagerung	2,7	2,3	2,2	2,2	2,1	2,0	1,9
Erdgas							
Produktion	56,8	53,1	55,9	55,0	50,6	46,4	41,8
Transport	37,8	40,1	42,9	42,4	43,7	46,2	46,9
Verteilung	191,3	165,9	170,9	161,6	151,1	139,1	125,3
Andere Leckagen	58,5	67,0	69,0	65,3	61,0	56,1	50,6
Summe	941,0	606,3	543,4	442,0	315,0	295,7	271,7
Summe (kt CO <sub>2</sub> -Äqu.)	19.761	12.732	11.412	9.281	6.615	6.209	5.705
ggü. 2005	55,2%	-	-10,4%	-27,1%	-48,0%	-51,2%	-55,2%

Quellen: UBA (2008 a+b), Berechnungen des Öko-Instituts.

**Tabelle 3-90** Entwicklung der flüchtigen CH<sub>4</sub>-Emissionen aus dem Energiesektor im Strukturwandel-Szenario, 2000-2030

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	kt						
Aktiver Kohlenbergbau							
Steinkohlen-Tiefbau	439,8	254,5	183,9	102,2	0,0	0,0	0,0
Steinkohlen-Aufbereitung	19,3	14,3	10,4	5,8	0,0	0,0	0,0
Braunkohlen-Tagebau	1,8	2,0	1,8	1,4	0,8	0,6	0,3
Umwandlung von Kohle	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3
Stillgelegte Zechen	129,1	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
Ölförderung und -bereitstellung							
Transport	3,4	3,9	3,2	2,6	1,9	1,3	0,6
Lagerung	2,7	2,3	2,1	1,9	1,6	1,4	1,3
Erdgas							
Produktion	56,8	53,1	55,9	55,0	50,6	46,4	41,8
Transport	37,8	40,1	42,3	41,0	39,1	37,1	34,0
Verteilung	191,3	165,9	171,1	150,6	120,9	89,4	56,9
Andere Leckagen	58,5	67,0	69,1	60,8	48,8	36,1	23,0
Summe	941,0	606,3	542,9	424,4	267,1	215,5	160,9
Summe (kt CO <sub>2</sub> -Äqu.)	19.761	12.732	11.401	8.912	5.609	4.525	3.380
ggü. 2005	55,2%	-	-10,4%	-30,0%	-55,9%	-64,5%	-73,5%

Quellen: UBA (2008 a+b), Berechnungen des Öko-Instituts.

Obwohl sich das Energieaufkommen im Strukturwandel-Szenario (SWS) deutlich ändert, bleiben die Auswirkungen auf die flüchtigen CH<sub>4</sub>-Emissionen des Energiesektors eher gering (Tabelle 3-90). Dies begründet sich vor allem aus der dominierenden Rolle der Steinkohlenförderungen für diesen Quellbereich. Angesichts der im Vergleich zum MMS unveränderten Trajektorie für die deutsche Steinkohleförderung ergeben sich hier im SWS keine Änderungen. Die deutlichste Änderung der Emissionen ergibt sich hier aus der Freisetzung von CH<sub>4</sub> im Erdgas-Verteilungssystem, die sich als Folge des

deutlich abnehmenden Erdgaseinsatzes erheblich verringern. Im Jahr 2030 liegen die CH<sub>4</sub>-Emissionen aus Erdgasförderung, Erdgastransport und –verteilung sowie anderen Leckagen bei etwa 3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu.

Insgesamt gehen die flüchtigen CH<sub>4</sub>-Emissionen des Energiesektors im Zeitraum 2005 bis 2030 im SWS um über 73 % zurück.

## 3.5 Projektionen nach sektorspezifischen Modellanalysen

### 3.5.1 Industrieprozesse (einschließlich Produktverwendung)

#### 3.5.1.1 Rahmenbedingungen und Maßnahmen

##### 3.5.1.1.1 CO<sub>2</sub>-, CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen

In Bezug auf CO<sub>2</sub>-, CH<sub>4</sub>- oder N<sub>2</sub>O- emittierende Industrieprozesse sind zwei verschiedene Quellbereiche zu unterscheiden:

- Prozessbedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen, die durch die jeweiligen chemisch-technischen Prozesse weitgehend determiniert sind, für die (noch) keine Ent-sorgungstechnologien (z.B. CO<sub>2</sub>-Abtrennung bzw. -Erfassung und Ablagerung) verfügbar sind und die sich damit nur über Substitute bzw. veränderte Produk-tionsniveaus verändern lassen.
- Prozessbedingte Treibhausgasemissionen, die über entsprechende Minde-rungstechniken reduziert werden können.

In die der zweiten Kategorie zuzurechnenden Prozesse, die signifikante CO<sub>2</sub>-, CH<sub>4</sub>- oder N<sub>2</sub>O-Emissionen verursachen und im Folgenden näher analysiert werden können, fallen nur zwei Prozesse in der chemischen Industrie:

- Adipinsäureproduktion bzw. die dabei entstehenden N<sub>2</sub>O-Emissionen;
- Salpetersäureproduktion bzw. die dabei entstehenden N<sub>2</sub>O-Emissionen.

Dabei sind die folgenden umwelt- und klimapolitischen Maßnahmen zu berücksichti-gen:

**Einbeziehung in den EU ETS:** Beide Produktionsprozesse unterliegen ab 2013 auch dem EU-Emissionshandelssystem, für sie muss also ab 2013 ein Preis für Treibhausgasemissionen als zusätzlicher Produktionsfaktor berücksichtigt werden. Darüber hinaus wird der im EU ETS noch festzulegende Benchmark für Neuanlagen einen Anreizeffekt zur N<sub>2</sub>O-Minderung bei Neuanlagen bewirken.

**Novelle der TA Luft:** Für die Übergangszeit bis 2013 ist darüber hinaus zu berück-sichtigen, dass mit der novellierten Technischen Anleitung Luft (TA Luft 2002) ab 2010 ein Emissionsgrenzwert von 800 mg N<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup> einzuhalten ist.

Sowohl die Einbeziehung in den EU ETS als auch die Novelle der TA Luft sind dem Mit-Maßnahmen-Szenario zuzuordnen, für das Strukturwandel-Szenario ist der höhere Zertifikatspreis zu berücksichtigen.

### 3.5.1.1.2 HFKW-, FKW- und SF<sub>6</sub>-Emissionen

#### 3.5.1.1.2.1 Mit-Maßnahmen-Szenario

Im Bereich der fluorierten Treibhausgase FKW, HFKW und SF<sub>6</sub> werden fr das Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) die folgenden Maßnahmen bercksichtigt:

#### **Maßnahmen zur Reduzierung von FKW, HFKW und SF<sub>6</sub>**

- Wartungspflicht/Dichtheitsprfungen fr stationre Klteanlagen
- Festlegung maximaler Leckraten fr stationre Klteanlagen (Meseberg-Beschluss Nr. 23)
- Emissionsminderung bei fluorierten Treibhausgasen in der Halbleiterherstellung
- Selbstverpflichtung der deutschen Primraluminiumindustrie
- Verwendungsverbote fr synthetische Treibhausgase (neuartige Aerosole, Einwegbehälter, Autoreifen, Schuhe)

#### **Maßnahmen zur Reduzierung von HFKW**

- Forderung der Substitution von HFKW in Gewerbeklteanlagen (ca. 30 % der neugebauten Klteanlagen im Lebensmitteleinzelhandel pro Jahr; ca. 540 Anlagen pro Jahr)
- Substitution von H-FKW durch Klttemittel mit einem GWP kleiner 150 sowie Verbesserung der Dichtheit bei mobilen Klimaanlageen fr ausgewählte Fahrzeugklassen
- Substitution von H-FKW durch Klttemittel mit einem GWP deutlich unter 150 fr mobile Klimaanlageen
- Weitgehende Substitution von H-FKW als Treibmittel fr PU-Montageschäume

#### **Maßnahmen zur Reduzierung von SF<sub>6</sub>**

- Substitution von SF<sub>6</sub> als Schutzgas in groen Produktionssttten der Magnesium-Produktion
- Ersatz der SF<sub>6</sub>-Technologie durch veränderte Glasaufbauten bei Schallschutzscheiben fr Wohnhuser
- Selbstverpflichtung deutscher Schaltanlagenhersteller, -nutzer und SF<sub>6</sub>-Produzenten zu SF<sub>6</sub>-Emissionsbegrenzungsmaßnahmen bei elektrischen Betriebsmitteln

### 3.5.1.1.2.2 Strukturwandel-Szenario

Hinsichtlich einer weiteren Reduktion der Emissionen von fluorierten Treibhausgasen werden im Strukturwandel-Szenario die folgenden (ordnungsrechtlichen) Maßnahmen berücksichtigt:

**Substitution von H-FKW** in mobilen Kälteanlagen durch Kältemittel mit einem kleineren GWP als 150 für alle Fahrzeugtypen

**Deutliche Substitution von H-FKW** im gesamten Gewerbekältebereich durch energieeffiziente Anlagen mit natürlichen Kältemitteln (ca. 50 % des Gesamtbestandes)

**Vollständiger Verzicht auf H-FKW**

- bei PU-Schaumprodukten
- bei XPS-Hartschäumen
- bei Aerosolen (Dosier- und technische Aerosole)

**Substitution von SF<sub>6</sub> als Schutzgas** in weiteren Produktionsstätten der Magnesium-Produktion

### 3.5.1.2 Prozessbedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen

#### 3.5.1.2.1 Methodik

Für die Erstellung der Projektionen für die prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen wurde ein dreistufiger Ansatz verfolgt:

1. Für einige (sehr relevante) Quellbereiche ist die Fortschreibung der Entwicklung im Mit-Maßnahmen- und im Strukturwandel-Szenario über Annahmen zur Entwicklung der Produktionsniveaus für eindeutig identifizierbare Produkte möglich.
2. Für einige (teilweise ebenfalls relevante) Quellbereiche können aus den energiewirtschaftlichen Entwicklungen (z.B. hinsichtlich des Mineralölbedarfs) die CO<sub>2</sub>-Emissionstrends abgeleitet werden.
3. Für einige (weniger relevante) Quellbereiche wurden die Determinanten der Emissionen nicht weiter analysiert und die Emissionen in den Szenarien auf dem Niveau von 2005 konstant gehalten.

Die prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen ergeben sich damit stets aus den zugrunde gelegten Produktionsmengen, die entweder exogen vorgegeben sind, konstant gehalten bzw. über die modellendogen ermittelten (Energie-) Produktionsniveaus ermittelt werden.

### 3.5.1.2.2 Annahmen, Parameter und Ergebnisse der Projektionen

Mit Blick auf die besonders relevanten prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen, die auf der Basis von Projektionen für die zukünftigen Produktionsvolumina beruhen, ist zunächst auf die *Zementproduktion* hinzuweisen. Prozessbedingtes CO<sub>2</sub> entsteht nicht bei der Herstellung des Endprodukts Zement, sondern beim Brennen der Zementklinker, bei dem sich das CO<sub>2</sub> aus dem stöchiometrischen Kohlenstoff-Umsatz ergibt. In den deutschen Treibhausgas-Inventaren wird bei der Emissionsermittlung entsprechend auf die Produktion von Zementklinkern abgestellt. Allerdings zeigt sich in der historischen Perspektive, dass der Anteil von Klinker im Zement sich insgesamt leicht verändert hat, dass aber insbesondere seit 2000 ein vergleichsweise guter statistischer Zusammenhang zwischen der Zementproduktion insgesamt und den prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Zementherstellung besteht.

Die Ermittlung der prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen erfolgte damit aus einer direkten Verknüpfung der Projektion für die Zementproduktion und dem spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor auf Basis des Endprodukts Zement.<sup>35</sup> Im Ergebnis schwanken die zukünftigen Emissionen an prozessbedingtem CO<sub>2</sub> aus der Zementherstellung bis zum Jahr 2030 angesichts der im Vergleich zu 2005 nur wenig veränderten Produktionsniveaus in einem relativ engen Band und liegen in diesem Zeitraum im Bereich von 11 bis 12 Mio. t CO<sub>2</sub> jährlich (Tabelle 3-91).

Bei den prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der *Kalksteinproduktion* muss unterschieden werden zwischen den Emissionen aus dem Brennen von Kalkstein einerseits und von Dolomit andererseits. Die spezifischen Emissionen liegen bei der Branntkalkherstellung um etwa 16 % über dem Wert für gebranntes Dolomit. Allerdings ist das Verhältnis von Branntkalk und gebranntem Dolomit im langfristigen Trend sehr stabil und wird durch den übergroßen Anteil von Branntkalk (über 90 %) dominiert, so dass für die Projektion eine Differenzierung nicht erforderlich ist.

Auch hier ergibt sich aus der Verknüpfung der Projektion für die zukünftige Kalksteinproduktion mit nur sehr geringfügigem Produktionsrückgang und einem spezifischen Emissionswert ein nahezu unverändertes Niveau der prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen (Tabelle 3-91).

Eine etwas kompliziertere Situation ergibt sich zumindest im Prinzip für die prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der *Glasherstellung*, da diese in hohem Maße von den unterschiedlichen Glasprodukten und anderen Faktoren (z.B. dem Anteil von Recycling-Glas) abhängen.<sup>36</sup> Gleichwohl zeigt sich im historischen Trend, und hier vor allem in den letzten Jahren, ein relativ stabiles Verhältnis von Emissionen und aggregierter Produktion. Vor diesem Hintergrund wird auch für die zukünftigen prozessbedingten

---

<sup>35</sup> Vor dem Hintergrund der vielfältigen Datenunsicherheiten am aktuellen Rand (d.h. vor allem für das Jahr 2006) wird bei allen produktionsabhängigen Projektionen für die prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen auf das Verhältnis Emission zu Produkt für das Jahr 2005 abgestellt, da hier im Regelfall eine deutlich besser belastbare Datenbasis existiert.

<sup>36</sup> Zum Einfluss der Glaszusammensetzung sowie des Recycling-Anteils im Detail vgl. Schön et al. (1997).

CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Glasherstellung ein fester Faktor für die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen je Tonne Glasproduktion in Ansatz gebracht.

Im Ergebnis entsteht für die Periode 2005 bis 2030 ein Emissionsniveau in der Größenordnung von 0,8 bis 0,9 Mio. t CO<sub>2</sub> (Tabelle 3-91).

Die *Produktion von Stahl* bildet die größte Einzelposition der prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen, dabei sind jedoch folgende Quellgruppen zu unterscheiden:

- die als prozessbedingt definierten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Reduktionsmitteleinsatz bei der Roheisenproduktion bzw. dem nachfolgenden Ausbrennen von Kohlenstoff bei der Oxygenstahlproduktion,
- die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Kalksteineinsatz im Hüttenwerk,
- die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Produktion von Elektrostahl (Elektrodenabbrand, Schaumkohleneinsatz etc.).

Die größte Quellgruppe bildet dabei naturgemäß die Herstellung von Roheisen bzw. Oxygenstahl. Vor dem Hintergrund der Konvention für die Abgrenzung der prozessbedingten von den energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen im Hochofenprozess<sup>37</sup> sind die prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Reduktionsmitteleinsatz starr verknüpft mit der Oxygenstahlproduktion. Die prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen folgen damit unmittelbar der Projektion für die Produktionsdaten. Für die prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Kalksteineinsatz im Hüttenwerk kann in guter Näherung ebenfalls eine feste Kopplung an die Stahlproduktion angenommen werden. Gleiches gilt für die prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus den Elektrostahlwerken.

Nach der für die Produktion von Oxygen- und Elektrostahl zugrunde liegenden Prognose (siehe Kapitel 3.2.5.1) wird zukünftig von einer schwach sinkenden Oxygenstahl- und einer steigenden Elektrostahlproduktion ausgegangen. Dementsprechend bleiben die prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Oxygenstahlproduktion (einschließlich Kalksteineinsatz) von 2005 bis 2030 auf einem Niveau von 40 bis 42 Mio. t CO<sub>2</sub> (Tabelle 3-91).

Für die Elektrostahlproduktion ergeben sich dagegen schwach steigende Emissionsniveaus, die mit ca. 0,06 bis 0,08 Mio. t CO<sub>2</sub> jedoch in einer ganz anderen Größenordnung liegen.

---

<sup>37</sup> Vgl. dazu im Detail die Darstellungen bei DIW et al. (2006) sowie Scholz (2003).

Tabelle 3-91 Entwicklung der prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen für ausgewählte Produktionsprozesse im Mit-Maßnahmen-Szenario, 2000-2030

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
<i>Produktionsdaten</i>	Mio. t						
Zementproduktion (2A)	38,0	33,6	31,6	30,9	30,3	29,6	29,0
Kalkproduktion (2A)	7,3	6,8	6,7	6,8	6,9	7,0	7,1
Glasproduktion (2A)	7,7	6,9	7,2	7,0	6,8	6,7	6,6
Rohstahl-Produktion (2C)	33,1	30,9	29,1	29,0	28,9	29,1	29,2
Elektrostahlproduktion (2C)	13,3	13,7	13,3	13,7	14,1	15,2	16,2
Aluminiumproduktion (2C)	0,644	0,646	0,440	0,440	0,220	0,220	0,000
<i>CO<sub>2</sub>-Emissionen</i>	kt CO <sub>2</sub>						
Zementproduktion (2A)	15.102	12.921	12.152	11.882	11.652	11.382	11.152
Kalkproduktion (2A)	5.819	5.415	5.318	5.397	5.476	5.556	5.635
Glasproduktion (2A)	942	894	931	897	878	859	845
Rohstahl-Produktion (2C)	45.486	42.555	40.132	39.994	39.856	40.132	40.270
<i>davon aus Reduktion</i>	43.199	40.330	38.034	37.903	37.772	38.034	38.164
<i>davon aus Kalksteineinsatz</i>	2.287	2.225	2.099	2.091	2.084	2.099	2.106
Elektrostahl-Produktion (2C)	67	65	64	65	67	73	77
Aluminiumproduktion (2C)	880	883	601	601	301	301	0

Quellen: UBA (2008 a+b), Statistisches Bundesamt, FhG-ISI, Berechnungen des Öko-Instituts.

Die prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Herstellung von Hüttenaluminium (Primäraluminium) folgen technologiebedingt ebenfalls starr der Produktionsentwicklung.<sup>38</sup> Die hier unterstellte, deutlich rückläufige Produktion von Primäraluminium in Deutschland führt entsprechend auch zu rückläufigen prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen, die im Jahr 2020 ein Niveau von etwa 0,3 Mio. t CO<sub>2</sub> erreichen und bis 2030 auf Null zurückgehen (Tabelle 3-91).

Für eine Reihe von Produktionsprozessen, für die prozessbedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen bilanziert werden, wurden die Emissionsniveaus von 2005 für den gesamten Projektionszeitraum konstant gehalten:

- Die prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Herstellung von Karbid und Ferrolegierungen sind so gering, dass eine weitere Analyse wenig sinnvoll ist.
- Die Niveaus der Emissionen aus der Keramik-, Ruß- und Methanolherstellung sind zwar relevant, die Schwankungsbreite der Emissionen in den letzten Jahren jedoch gering und belastbare Projektionsdaten für die Produktion waren für dieses Projekt nicht verfügbar.
- Eine ähnliche Situation ergibt sich für die prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Ammoniakherstellung, für die die Emissionsniveaus bis 2002 nur in ei-

<sup>38</sup> Hinsichtlich der historischen Produktionsdaten für Primäraluminium muss auf erhebliche Datenunsicherheiten hingewiesen werden. So unterscheiden sich die Angaben zur Primäraluminiumproduktion des Statistischen Bundesamtes, des Gesamtverbandes der Aluminiumindustrie und die vom UBA genutzten Daten aus dem Monitoring zur Selbstverpflichtung der Aluminiumindustrie in einzelnen Jahren erheblich. Angesichts des geringen Beitrags dieser Quellgruppe zu den prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen ist dies aber zumindest hier nicht sonderlich problematisch.

ner engen Bandbreite schwankten und der Anstieg der Emissionen im Jahr 2003 durch den Markteintritt von zwei Salpetersäure-Herstellern gut zu erklären ist.

Die prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Katalysatorabbrand und den Umwandlungsverlusten wurden in der Dynamik des Primärenergieverbrauchs von Mineralöl fortgeschrieben. Damit ergeben sich für das Mit-Maßnahmen-Szenario in beiden Bereichen rückläufige Emissionsniveaus, so dass im Jahr 2030 die prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Katalysatorenabbrand bei etwa 2,4 und die prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus den Umwandlungsverlusten in den Raffinerien bei ca. 3,2 Mio. t liegen (Tabelle 3-92).

*Tabelle 3-92 Entwicklung der prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen im Mit-Maßnahmen-Szenario für ausgewählte Prozesse, 2000-2030*

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
<i>Bezugsdaten</i>	Mio. t						
Mineralöl-Einsatz	105	97	96	95	91	87	82
Kohleeinsatz in Kraftwerken	208	214	193	193	147	150	144
<i>CO<sub>2</sub>-Emissionen</i>	kt CO <sub>2</sub>						
Katalysatorenabbrand (2B)	2.894	2.883	2.854	2.810	2.683	2.571	2.427
Umwandlungsverluste (2B)	3.760	3.776	3.738	3.679	3.513	3.367	3.178
<i>REA<sup>a</sup></i>	1.358	1.382	1.248	1.251	958	974	934
Anmerkung: <sup>a</sup> CO <sub>2</sub> -Emissionen aus Rauchgasentschwefelungsanlagen werden in den deutschen Treibhausgasinventaren unter den energiebedingten CO <sub>2</sub> -Emissionen inventarisiert.							

Quellen: UBA (2008 a+b), Berechnungen des Öko-Instituts.

Eine Besonderheit für die deutschen Treibhausgasinventare besteht darin, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus den Rauchgasentschwefelungsanlagen unter den energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen inventarisiert werden. Da dieser Quellbereich in den Sektormodellen für die Stromerzeugung in der Regel nicht berücksichtigt wird, erfolgt die Erstellung der Projektion über die folgende Plausibilitätsüberlegung: Rauchgasreinigungsanlagen sind ganz überwiegend für Kohlenkraftwerke relevant und sind dort abhängig vom Schwefeleintrag über den Kohleneinsatz. In grober Näherung wird für die Projektion davon ausgegangen, dass sich die prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen proportional zum Einsatz von Kraftwerkskohlen (differenziert nach Braun- und Steinkohlen sowie gewichtet mit den mittleren Schwefelgehalten) entwickeln. Über diesen methodischen Ansatz ergibt sich die in Tabelle 3-92 gezeigte Entwicklung. Die Emissionen liegen im Mit-Maßnahmen-Szenario für den Zeitraum 2005 bis 2030 im Bereich von 0,9 bis 1,4 Mio. t CO<sub>2</sub>.

Tabelle 3-93 Entwicklung der prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen im Strukturwandel-Szenario für ausgewählte Prozesse, 2000-2030

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
<i>Bezugsdaten</i>	Mio. t						
Mineralöl-Einsatz	105	97	92	81	70	61	54
Kohleeinsatz in Kraftwerken	208	214	187	156	91	65	24
<i>CO<sub>2</sub>-Emissionen</i>	kt CO <sub>2</sub>						
Katalysatorenabbrand (2B)	2.894	2.883	2.722	2.393	2.074	1.820	1.595
Umwandlungsverluste (2B)	3.760	3.776	3.565	3.134	2.717	2.383	2.088
REA <sup>a</sup>	1.358	1.382	1.205	1.010	590	418	153
Anmerkung: <sup>a</sup> CO <sub>2</sub> -Emissionen aus Rauchgasentschwefelungsanlagen werden in den deutschen Treibhausgasinventaren unter den energiebedingten CO <sub>2</sub> -Emissionen inventarisiert.							

Quellen: UBA (2008 a+b), Berechnungen des Öko-Instituts.

Für das Strukturwandel-Szenario (SWS) ergeben sich Änderungen bei den prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen im Vergleich zum MMS nach dem hier verfolgten Analyseansatz nur für diejenigen Quellbereiche, die mit dem Energiesektor verbunden sind (Tabelle 3-93). Das Niveau der prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Mineralölraffinerien sinkt im Vergleich zum MMS um ca. 1,9 Mio. t CO<sub>2</sub>. Erhebliche Emissionsminderungen ergeben sich im Kontext einer deutlich verringerten Kohleverstromung im SWS ebenfalls für den CO<sub>2</sub>-Ausstoß der Rauchgasreinigungsanlagen.

### 3.5.1.3 Prozessbedingte CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen

#### 3.5.1.3.1 Methodik sowie Annahmen und Parameter

Hinsichtlich der Projektion (Tabelle 3-94) für das Mit-Maßnahmen-Szenario wurden die folgenden Annahmen getroffen:

- Die meisten erfassten Quellgruppen haben einen so geringen Beitrag zu den Emissionen, dass die Emissionsniveaus auch für den Projektionszeitraum konstant gehalten wurden.
- Mit der Einbeziehung der Adipin- und Salpetersäureproduktion in das EU-Emissionshandelssystem ab 2013 – und der Möglichkeit, in diesem Bereich bereits ab 2008 Joint-Implementation-Projekte durchzuführen – werden erhebliche wirtschaftliche Anreize zur Ausrüstung der entsprechenden Produktionsanlagen mit Einrichtungen zur N<sub>2</sub>O-Emissionsminderung wirksam. Im Vergleich zu den deutlichen (Opportunitäts-) Kosten für EU-Emissionsberechtigungen werden Maßnahmen zur N<sub>2</sub>O-Emissionsminderung bei der Adipin- und Salpetersäureproduktion wirtschaftlich hoch attraktiv.

Insgesamt werden damit die N<sub>2</sub>O- und CH<sub>4</sub>-Emissionen aus nahezu allen hier behandelten Quellbereichen, jedoch mit Ausnahme der Adipin- und Salpetersäureproduktion, für den Projektionszeitraum auf dem Niveau von 2005 konstant gehalten.

Für die Adipin- und Salpetersäureproduktion wurden der Projektion die folgenden Annahmen zu Grunde gelegt:

- Für die zukünftigen Produktionsniveaus wurde auf die Dynamik abgestellt, die auch für die GAINS-Modellrechnungen für das EU-Klima- und Energiepaket in Ansatz gebracht wurden. Im Jahr 2030 wird danach das Produktionsniveau des Jahres 2000 der Adipinsäureproduktion um etwa den Faktor 2,7 ausgeweitet sein, die entsprechende Produktion von Salpetersäure wird im Jahr 2030 etwa das 3,1-fache des Wertes von 2000 betragen.
- Für die N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der Salpetersäureproduktion wird für das Jahr 2010 die Einhaltung der novellierten TA Luft unterstellt, dies entspricht einer Minderungsrate von im Mittel etwa 46 %. Damit sollen – in konservativer Abschätzung – auch die Maßnahmen im Rahmen von derzeit geplanten bzw. beantragten Joint-Implementation-Projekten bzw. die vorgegriffene Erweiterung des Erfassungsbereichs des EU-Emissionshandelssystems repräsentiert werden.
- Angesichts der im Rahmen von Joint-Implementation-Projekten ab 2008 sowie im Rahmen des EU-Emissionshandelssystem ab 2013 wirkenden, hohen wirtschaftlichen Anreize wird bereits ab 2015 von einer Minderung der N<sub>2</sub>O-Emissionen (im Vergleich zur Situation ohne Minderungsmaßnahmen) in der Größenordnung von 95 % ausgegangen. Dies bewirkt für die N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der Salpetersäureproduktion eine hohe Minderung (hier wurden in der Vergangenheit nur geringere Minderungen erzielt), im Bereich der Adipinsäureproduktion jedoch nur geringe zusätzliche N<sub>2</sub>O-Emissionsminderungen (vor

dem Hintergrund der bereits ergriffenen Minderungsmaßnahmen in diesem Bereich).

Vor dem Hintergrund der im MMS ermittelten massiven Emissionsminderung wurden für das SWS keine zusätzlichen Maßnahmen mehr modelliert.

### 3.5.1.3.2 Ergebnisse der Projektion

Da das Gesamtniveau der prozessbedingten CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen aus Industrieprozessen vor allem durch den N<sub>2</sub>O-Ausstoß bei der Adipin- und Salpetersäureproduktion bestimmt wird, zeigen die in diesen Bereichen ergriffenen Maßnahmen eine erhebliche Wirkung. Im Zeitraum 2005 bis 2030 gehen die gesamten Emissionen im MMS (und ebenso im SWS) um über 12 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. zurück. Dies entspricht einer Emissionsminderung von etwa 81 % (Tabelle 3-94).

**Tabelle 3-94** Entwicklung der CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung im Mit-Maßnahmen-Szenario und im Strukturwandel-Szenario, 2000-2030

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	kt						
<i>CH<sub>4</sub>-Emissionen</i>							
Rußproduktion	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Eisen- und Stahlproduktion	0,11	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Zwischensumme CH <sub>4</sub>	0,12	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
<i>N<sub>2</sub>O-Emissionen</i>							
Salpetersäureproduktion	13,4	35,0	20,7	2,0	2,1	2,1	2,1
Adipinsäureherstellung	4,5	10,6	11,3	3,3	3,4	3,4	3,4
Lachgasherstellung	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Herstellung von Caprolactam	NO						
Herstellung von N-Dodecandisäure	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
N <sub>2</sub> O-Einsatz als Anästhetika	3,5	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
Anderer (technischer) N <sub>2</sub> O-Einsatz	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
N <sub>2</sub> O aus Sprengstoffeinsatz	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Zwischensumme N <sub>2</sub> O	22,2	49,6	36,0	9,3	9,4	9,5	9,5
Summe (kt CO <sub>2</sub> -Äqu.)	6.870	15.371	11.156	2.880	2.927	2.947	2.940
ggü. 2005	-55,3%	-	-27,4%	-81,3%	-81,0%	-80,8%	-80,9%

Quellen: UBA (2008 a+b), EWI/Prognos (2006), Berechnungen des Öko-Instituts.

Das im Bereich der prozessbedingten CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen umsetzbare Minderungspotenzial dürfte mit Blick auf die im MMS und im SWS unterstellten Maßnahmen sowie die nur untergeordneten Emissionsbeiträge der anderen Industrieprozesse weitgehend ausgeschöpft sein.

### 3.5.1.4 HFKW-, FKW- und SF<sub>6</sub>-Emissionen (Industrieprozesse und Produktverwendung)

#### 3.5.1.4.1 Methodik sowie Annahmen und Parameter

Für die HFKW-, FKW- und SF<sub>6</sub>-Emissionen wurden die Projektionen aus einem Forschungsprojekt des UBA (Öko-Recherche 2005) zu Grunde gelegt. Die Emissionsniveaus und sektoralen Zuordnungen in dieser Analyse differieren zwar leicht von den aktuellen Inventardaten bzw. den Abgrenzungen der berücksichtigten Maßnahmen, gleichwohl ist eine Übernahme der Projektionsdaten sinnvoll und belastbar. In der Studie von Öko-Recherche (2005) wurden vier Szenarien entwickelt.

1. Im Szenario I („Ohne Maßnahmen ab 1999“) wird versucht, die bisher ergriffenen Maßnahmen zur Minderung der Emissionen auszublenden.
2. Im Szenario II („Mit-Maßnahmen-Szenario bis 2003“) werden die bis 2003 ergriffenen Maßnahmen berücksichtigt.
3. Im Szenario III („EU-Gesetzgebung 2007“) werden zusätzlich diejenigen Maßnahmen berücksichtigt, die aus der inzwischen rechtskräftig geworden EU-Gesetzgebung resultieren.<sup>39</sup>
4. Im Szenario IV („Mit weiteren Maßnahmen“) werden darüber hinaus gehende Maßnahmen berücksichtigt.

Im Sinne eines Mit-Maßnahmen-Szenarios (MMS) wurde dabei das Szenario III zugrunde gelegt, da die entsprechenden EU-Maßnahmen zu denen gehören, die hier zu berücksichtigen sind. Auch für das Strukturwandel-Szenario (SWS) im Bereich der hier betrachteten synthetischen Treibhausgase wird wiederum auf die Analyse von Öko-Recherche (2005) zurückgegriffen, wobei auf das Szenario IV abgestellt wurde.

Auch wenn sich seit Erstellung der Projektion von Öko-Recherche (2005) einige der rechtlichen Rahmenbedingungen geändert haben, bilden die Annahmen von Öko-Recherche (2005) den Ausgangspunkt für die hier präsentierte Projektion, da keine aktuellere Projektionsanalyse mit einem vergleichbaren Erfassungs- und Konsistenzgrad verfügbar ist. Gleichwohl mussten die Ausgangs- und Ergebnisdaten für die Projektion angepasst werden, da die Entwicklung der Emissionen von 1995 (dem Basisjahr der Projektion von Öko-Recherche (2005)) bis 2005 teilweise nicht dem dort dargestellten Projektionspfad folgen. Die Anpassung der Projektion erfolgte in zwei Schritten:

- Aus dem Szenario I von Öko-Recherche und jeweils spezifischen Annahmen zur Umsetzung der bis 2003 ergriffenen Maßnahmen wurde eine Grobschät-

---

<sup>39</sup> Es sind dies die EU-Richtlinie über Emissionen aus Klimaanlage in Kraftfahrzeugen und zur Änderung der Richtlinie 70/156/EWG vom 17. Mai 2006 sowie die EU-Verordnung über bestimmte fluorierte Treibhausgase vom 17. Mai 2006.

zung für die im Jahr 2005 zu erwartenden Aktivitätsniveaus erstellt, die dem Ausstoß von HFKW, FKW bzw. SF<sub>6</sub> zu Grunde liegen.<sup>40</sup>

- Die (Basis-) Projektion I wurde auf der Basis der Ist-Emissionswerte von 2005 entsprechend angepasst.
- Für das MMS und das SWS wurden dann die Reduktionsraten zwischen dem Szenario I und III (MMS) bzw. dem Szenario I und IV (SWS) ermittelt und auf die angepasste Basisprojektion angewendet.

Im Ergebnis entsteht mit dieser Schätzmethode eine vergleichsweise robuste Projektion für das MMS und das SWS, ohne dass vertiefte Sektoranalysen angestellt werden mussten.

Darüber hinaus wurden für einzelne Ist-Werte Aktualisierungen vorgenommen, die neuere Erkenntnisse des UBA berücksichtigen. Für die HFKW-Emissionen aus Aerosolen und Dosiersprays wurde schließlich eine gesonderte Projektion des UBA zugrunde gelegt.

#### 3.5.1.4.2 Ergebnisse der Projektion

Mit dem beschriebenen methodischen Ansatz ergibt sich für das Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) die in Tabelle 3-95 gezeigte Emissionsentwicklung.

Der größte Emissionsbeitrag muss danach auch in Zukunft für die HFKW-Emissionen bilanziert werden, wobei hier der stark steigende Ausstoß von HFKW aus Kühl- und Klimaanlageanlagen nur teilweise durch (absolute) Emissionsminderungen in anderen Bereichen (Schaumherstellung) kompensiert werden kann. Insgesamt kann im MMS das Emissionsniveau für HFKW, FKW und SF<sub>6</sub> für den Zeithorizont 2020/2030 wieder auf das Niveau von 2005 zurück geführt werden. Im Vergleich zum Jahr 1995 (Basisjahr für die F-Gase) ergibt sich ein Rückgang von knapp 10%.

Ein deutlich anderer Emissionsverlauf ergibt sich für das SWS (Tabelle 3-96). Hier führen die unterstellten Maßnahmen dazu, dass auch die HFKW-Emissionen aus Kühl- und Klimaanlageanlagen bis 2020/2030 deutlich unter das Niveau von 2005 zurückgeführt werden können. In Kombination mit den anderen Maßnahmen (v.a. im Bereich der SF<sub>6</sub>-Emissionen) ergibt sich hier für HFKW, FKW und SF<sub>6</sub> zusammen im Jahr 2030 ein Emissionsniveau, dass mehr als ein Viertel unter dem Ausgangswert von 2005 liegt. Im Vergleich zum Basisjahr 1995 ergibt sich eine Emissionsminderung von einem Drittel.

---

<sup>40</sup> Dabei wurde unterstellt, dass im Jahr 2005 etwa 50 % der im Zeitraum 2003 bis 2010 erwarteten Emissionswirkungen der bis 2003 ergriffenen Maßnahmen realisiert wurden.

**Tabelle 3-95** Entwicklung der HFKW-, FKW- und SF<sub>6</sub>- Emissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung im Mit-Maßnahmen-Szenario, 2000-2030

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	kt CO <sub>2</sub> -Äqu.						
<b>HFKW-Emissionen</b>							
Herstellung von halogenierten Kohlenwasserstoffen und SF <sub>6</sub> (2E)	1.207	516	C,IE	C,IE	C,IE	C,IE	C,IE
Kühl- und Klimaanlage (2F)	3.553	7.491	10.847	9.623	8.399	8.399	8.399
Schaumherstellung <sup>b</sup> (2F)	1.206	1.250	381	426	471	471	471
Feuerlöscher (2F)	2	7	8	11	14	14	14
Aerosole und medizinische Dosiersprays (2F)	483	613	564	620	685	685	685
Halbleiterproduktion (2F)	17	16	10	10	10	10	10
Nicht spezifiziert/vertraulich <sup>a</sup> (2F)	1	3	510	506	502	502	502
<b>Zwischensumme HFKW</b>	<b>6.469</b>	<b>9.896</b>	<b>12.319</b>	<b>11.195</b>	<b>10.080</b>	<b>10.080</b>	<b>10.080</b>
<b>FKW-Emissionen</b>							
Aluminiumproduktion (2C)	356	338	167	167	167	167	167
Kühl- und Klimaanlage	84	132	141	109	78	78	78
Herstellung von halogenierten Kohlenwasserstoffen und SF <sub>6</sub> (2E)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Halbleiterproduktion (2F)	346	249	125	125	125	125	125
Nicht spezifiziert/vertraulich <sup>a</sup> (2F)	0	0	13	13	13	13	13
<b>Zwischensumme FKW</b>	<b>786</b>	<b>718</b>	<b>446</b>	<b>415</b>	<b>383</b>	<b>383</b>	<b>383</b>
<b>SF<sub>6</sub>-Emissionen</b>							
Magnesium-Gießereien <sup>b</sup> (2C)	650	668	301	412	524	524	524
Herstellung von halogenierten Kohlenwasserstoffen und SF <sub>6</sub> (2E)	C,IE	C,IE	C,IE	C,IE	C,IE	C,IE	C,IE
Halbleiterproduktion (2F)	56	75	11	11	11	11	11
Elektrische Anlagen (2F)	1.158	762	592	594	595	595	595
Reifenbefüllung (2F)	1.195	65	0	0	0	0	0
Spurengase (2F)	12	12	18	18	18	18	18
Schallschutzfenster (2F)	1.234	1.348	1.076	1.490	1.904	1.904	1.904
Nicht spezifiziert/vertraulich <sup>a</sup> (2F)	772	450	412	412	413	413	413
<b>Zwischensumme SF<sub>6</sub></b>	<b>5.078</b>	<b>3.380</b>	<b>2.409</b>	<b>2.937</b>	<b>3.464</b>	<b>3.464</b>	<b>3.464</b>
<b>Summe</b>	<b>12.333</b>	<b>13.994</b>	<b>15.174</b>	<b>14.546</b>	<b>13.927</b>	<b>13.927</b>	<b>13.927</b>
ggü. 2005	-11,9%	-	8,4%	3,9%	-0,5%	-0,5%	-0,5%
ggü. 1995	-20,1%	-9,4%	-1,7%	-5,8%	-9,8%	-9,8%	-9,8%
Anmerkungen: <sup>a</sup> in den Inventaren als vertraulich gekennzeichnete sowie nicht weiter differenzierte oder konsistent zuordenbare Werte. <sup>b</sup> Abweichungen von Inventarwerten für 2005 auf Grund neuer Erkenntnisse seitens UBA.							

Quellen: UBA (2008 a+b), Öko-Recherche (2005), Berechnungen des Öko-Instituts.

**Tabelle 3-96** Entwicklung der HFKW-, FKW- und SF<sub>6</sub>- Emissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung im Strukturwandel-Szenario, 2000-2030

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	kt CO <sub>2</sub> -Äqu.						
<b>HFKW-Emissionen</b>							
Herstellung von halogenierten Kohlenwasserstoffen und SF <sub>6</sub> (2E)	1.207	516	C,IE	C,IE	C,IE	C,IE	C,IE
Kühl- und Klimaanlage (2F)	3.553	7.491	10.812	8.762	6.712	6.712	6.712
Schaumherstellung <sup>b</sup> (2F)	1.206	1.250	112	69	25	25	25
Feuerlöscher (2F)	2	7	8	9	11	11	11
Aerosole und medizinische Dosiersprays (2F)	483	613	367	325	282	282	282
Halbleiterproduktion (2F)	17	16	10	10	10	10	10
Nicht spezifiziert/vertraulich <sup>a</sup> (2F)	1	3	250	247	245	245	245
<b>Zwischensumme HFKW</b>	<b>6.469</b>	<b>9.896</b>	<b>11.559</b>	<b>9.422</b>	<b>7.284</b>	<b>7.284</b>	<b>7.284</b>
<b>FKW-Emissionen</b>							
Aluminiumproduktion (2C)	356	338	133	133	133	133	133
Kühl- und Klimaanlage	84	132	141	99	57	57	57
Herstellung von halogenierten Kohlenwasserstoffen und SF <sub>6</sub> (2E)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Halbleiterproduktion (2F)	346	249	125	125	125	125	125
Nicht spezifiziert/vertraulich <sup>a</sup> (2F)	0	0	13	13	13	13	13
<b>Zwischensumme FKW</b>	<b>786</b>	<b>718</b>	<b>412</b>	<b>370</b>	<b>328</b>	<b>328</b>	<b>328</b>
<b>SF<sub>6</sub>-Emissionen</b>							
Magnesium-Gießereien <sup>b</sup> (2C)	650	668	0	0	0	0	0
Herstellung von halogenierten Kohlenwasserstoffen und SF <sub>6</sub> (2E)	C,IE	C,IE	C,IE	C,IE	C,IE	C,IE	C,IE
Halbleiterproduktion (2F)	56	75	11	11	11	11	11
Elektrische Anlagen (2F)	1.158	762	455	406	358	358	358
Reifenbefüllung (2F)	1.195	65	0	0	0	0	0
Spurengase (2F)	12	12	0	0	0	0	0
Schallschutzfenster (2F)	1.234	1.348	1.076	1.490	1.904	1.904	1.904
Nicht spezifiziert/vertraulich <sup>a</sup> (2F)	772	450	412	412	412	412	412
<b>Zwischensumme SF<sub>6</sub></b>	<b>5.078</b>	<b>3.380</b>	<b>1.954</b>	<b>2.320</b>	<b>2.685</b>	<b>2.685</b>	<b>2.685</b>
<b>Summe</b>	<b>12.333</b>	<b>13.994</b>	<b>13.925</b>	<b>12.111</b>	<b>10.298</b>	<b>10.298</b>	<b>10.298</b>
ggü. 2005	-11,9%	-	-0,5%	-13,5%	-26,4%	-26,4%	-26,4%
ggü. 1995	-20,1%	-9,4%	-9,8%	-21,6%	-33,3%	-33,3%	-33,3%
Anmerkungen: <sup>a</sup> in den Inventaren als vertraulich gekennzeichnete sowie nicht weiter differenzierte oder konsistent zuordenbare Werte. <sup>b</sup> Abweichungen von Inventarwerten für 2005 auf Grund neuer Erkenntnisse seitens UBA.							

Quellen: UBA (2008 a+b), Öko-Recherche (2005), Berechnungen des Öko-Instituts.

### 3.5.1.5 Ergebnisse der Projektionen für die prozessbedingten Treibhausgas-Emissionen (einschließlich Produktverwendung)

Die Entwicklung der Emissionen von CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O aus Industrieprozessen für das Mit-Maßnahmen- und das Strukturwandel-Szenario zeigt die Tabelle 3-97 im Überblick.

Im Zeitraum ab 2005 sinken die Gesamtemissionen im MMS um etwa 20 % und im SWS um knapp 22 %. Den größten Beitrag erbringen dabei die Maßnahmen im Bereich der N<sub>2</sub>O-Emissionen (d.h. v.a. die Einbeziehung der N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der Adipin- und Salpetersäureproduktion in das EU-Emissionshandelssystem). Die Unterschiede zwischen MMS und SWS bleiben vergleichsweise gering. Bezogen auf das Basisniveau von 1990 ergeben sich im MMS und im SWS Emissionsminderungen von etwa einem Drittel.

*Tabelle 3-97 Entwicklung der gesamten CO<sub>2</sub>-, CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung im Mit-Maßnahmen- und im Strukturwandel-Szenario, 1990-2030*

	1990	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	kt CO <sub>2</sub> -Äqu.						
CO <sub>2</sub> -Emissionen							
Entwicklung 1990 - 2005	84.157	77.917					
Mit-Maßnahmen-Szenario			74.361	73.898	72.998	72.812	72.154
Strukturwandel-Szenario			74.056	72.936	71.593	71.077	70.233
CH <sub>4</sub> -Emissionen							
Entwicklung 1990 - 2005	4	2					
Mit-Maßnahmen-Szenario			2	2	2	2	2
Strukturwandel-Szenario			2	2	2	2	2
N <sub>2</sub> O-Emissionen							
Entwicklung 1990 - 2005	25.865	15.579					
Mit-Maßnahmen-Szenario			11.154	2.878	2.925	2.945	2.938
Strukturwandel-Szenario			11.154	2.878	2.925	2.945	2.938
Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O							
Entwicklung 1990 - 2005	110.026	93.499					
Mit-Maßnahmen-Szenario			85.517	76.778	75.924	75.759	75.095
Strukturwandel-Szenario			85.212	75.817	74.520	74.024	73.173
Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O							
Mit-Maßnahmen-Szenario			-22,3	-30,2	-31,0	-31,1	-31,7
Strukturwandel-Szenario			-22,6	-31,1	-32,3	-32,7	-33,5
Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O							
Mit-Maßnahmen-Szenario			-8,5	-17,9	-18,8	-19,0	-19,7
Strukturwandel-Szenario			-8,9	-18,9	-20,3	-20,8	-21,7
Anmerkungen: nur prozessbedingte Emissionen in der Abgrenzung des NIR, ohne CO <sub>2</sub> -Emissionen aus der Rauchgasentschwefelung							

Quellen: UBA (2008 a+b), Öko-Recherche (2005), Berechnungen des Öko-Instituts.

Für die Emissionen von FKW, HFKW und SF<sub>6</sub> (Tabelle 3-98) ergibt sich im MMS bis zum Jahr 2030 nach zwischenzeitlichem Anstieg ein Wert knapp unter dem Ausgangsniveau von 2005. Im Vergleich von SWS und MMS resultieren aus den zusätzlichen Maßnahmen im Bereich der HFKW- und der SF<sub>6</sub>-Emissionen erhebliche Emissionsminderungen, wobei die zusätzliche Minderung der HFKW-Emissionen mengenmäßig klar dominiert. In Bezug auf das Basisjahr für die F-Gas-Emissionen (1995) ergibt sich

im MMS bis 2020/2030 eine Emissionsminderung von knapp 10 %, im SWS können die F-Gas-Emissionen um ein Drittel verringert werden.

**Tabelle 3-98** Entwicklung der gesamten FKW-, HFKW- und SF<sub>6</sub>- Emissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung im Mit-Maßnahmen- und im Strukturwandel-Szenario, 1995-2030

	1995 <sup>a</sup>	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	kt CO <sub>2</sub> -Äqu.						
HFKW-Emissionen							
Entwicklung 1990 - 2005	6.472	9.896					
Mit-Maßnahmen-Szenario			12.319	11.195	10.080	10.080	10.080
Strukturwandel-Szenario			11.559	9.422	7.284	7.284	7.284
FKW-Emissionen							
Entwicklung 1990 - 2005	1.750	718					
Mit-Maßnahmen-Szenario			446	415	383	383	383
Strukturwandel-Szenario			412	370	328	328	328
SF <sub>6</sub> -Emissionen							
Entwicklung 1990 - 2005	7.220	3.380					
Mit-Maßnahmen-Szenario			2.409	2.937	3.464	3.464	3.464
Strukturwandel-Szenario			1.954	2.320	2.685	2.685	2.685
Summe HFKW+FKW+SF <sub>6</sub>							
Entwicklung 1995 - 2005	15.442	13.994					
Mit-Maßnahmen-Szenario			15.174	14.546	13.927	13.927	13.927
Strukturwandel-Szenario			13.925	12.111	10.298	10.298	10.298
Summe HFKW+FKW+SF <sub>6</sub>				Veränderung ab 1995 <sup>a</sup> in %			
Mit-Maßnahmen-Szenario			-1,7	-5,8	-9,8	17,4	17,4
Strukturwandel-Szenario			-9,8	-21,6	-33,3	-13,2	-13,2
Summe HFKW+FKW+SF <sub>6</sub>				Veränderung ab 2005 in %			
Mit-Maßnahmen-Szenario			8,4	3,9	-0,5	-0,5	-0,5
Strukturwandel-Szenario			-0,5	-13,5	-26,4	-26,4	-26,4

Anmerkung: <sup>a</sup> Für HFKW, FKW und SF<sub>6</sub> ist das Basisjahr im Rahmen der Verpflichtungen des Kyoto-Protokols 1995.

Quellen: UBA (2008 a+b), Öko-Recherche (2005), Berechnungen des Öko-Instituts

### 3.5.2 Landwirtschaft

#### 3.5.2.1 Rahmendaten und Maßnahmen

Im vorliegenden Bericht wird der Landwirtschaftssektor auf Grundlage einer separaten Analyse (Osterburg/Dämmgen 2008) einbezogen. Die Betrachtung schließt CO<sub>2</sub> aus Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft aus.

In der Landwirtschaft sind die Tierhaltung und der Einsatz von mineralischen Düngemitteln die bedeutendsten Emissionsquellen von Treibhausgasen. So entsteht einerseits Methan (CH<sub>4</sub>) bei der Verdauung durch Wiederkäuer und bei der Lagerung von Wirtschaftsdüngern. Letzterer ist andererseits eine wichtige Quelle von Distickstoffoxid (N<sub>2</sub>O)-Emissionen. Bezüglich beider Gase ist die Landwirtschaft die größte Emissionsquelle in Deutschland. Im Jahr 2005 waren landwirtschaftliche CH<sub>4</sub>-Emissionen in Höhe von 22,7 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. (d.h. 47,5 % der gesamten CH<sub>4</sub>-Emissionen in Höhe von 47,7 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu.) zu verzeichnen, gefolgt von den Sektoren Energie mit 13,9 Mio. t (29,2 %) und Abfall mit 11,1 Mio. t (23,3 %). Die landwirtschaftlichen N<sub>2</sub>O-Emissionen erreichten im selben Jahr einen Stand von 40,9 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. (d.h. 61,8 % der gesamten N<sub>2</sub>O-Emissionen in Höhe von 66,1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu.), gefolgt von industriellen Prozessen der chemischen Industrie mit 14,4 Mio. t (21,8 %) sowie dem Energiesektor mit 6,5 Mio. t (9,9 %). Von 1990 bis 2005 sanken die landwirtschaftlichen Emissionen von CH<sub>4</sub> bzw. N<sub>2</sub>O um 22,6% bzw. 15,5 %, während die Gesamtemissionen beider Gase um 52 % bzw. 22 % abnahmen.

Politische Regelungen für die Landwirtschaft werden zu großen Teilen auf EU-Ebene im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) beschlossen. Spezifische Maßnahmen und Instrumente zur Reduktion der Treibhausgas-Emissionen sind im Landwirtschaftssektor nicht zu verzeichnen. Jedoch unterstützen die Reform der GAP, die Förderung des Ökologischen Landbaus sowie die Agrarumweltmaßnahmen den Prozess hin zu Extensivierung, geringeren Tierzahlen und Reduktion des Stickstoffdüngereinsatzes. Generell sind die Wirkungen aufgrund der Komplexität des Sektors sowie vielfältiger diffuser Emissionsquellen schwer einzuschätzen. Im Rahmen des Berichts sind die Projektionen daher auf ein Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) limitiert.

Neben den wesentlichen Annahmen für die Projektionen (siehe Abschnitt 3.5.2.3) spielt hier die Abbildung von Bioenergiepolitiken eine zunehmende Rolle. Eine Analyse der Produktions- und Preisprojektionen für die Weltagrarmärkte seitens des Food and Agricultural Policy Research Institute (FAPRI) an der Iowa State University, der OECD/FAO und der EU-Kommission hat gezeigt, dass insbesondere durch verringerte Lagerbestände, die Ankopplung der Agrarpreise an die Energiepreise und nicht zuletzt durch den Einfluss staatlich gesteuerter Bioenergiepolitiken große Unsicherheiten bestehen im Hinblick auf zukünftige Produktionsmengen und -preise (vgl. Osterburg & Dämmgen, 2008). Diese haben entsprechende Auswirkungen auf die Entwicklung der Flächennutzung und der Tierbestände. Weitere Effekte auf die Agrarmärkte konnten bereits beobachtet werden. Explorative Analysen im Rahmen des EU-Projekts MEA-CAP (Ledebur et al. 2007; Osterburg et al. 2007) zeigen höhere Preise und steigende Opportunitätskosten der Ackerflächennutzung, die zur Umwandlung von Grünland füh-

ren, und eine Intensivierung der Produktion. Weitere Auswirkungen sind ein steigender Wettbewerbsdruck in der Tierhaltung sowie die Substitution energiereicher durch proteinstreicher Futtermittel, die zu höheren Stickstoffausscheidungen führt (vgl. Osterburg/Dämmgen 2008).

### 3.5.2.2 Methodik

Die vorgestellten Ergebnisse basieren auf dem Nationalen Inventarbericht zum deutschen Treibhausgasinventar (NIR) 1990-2006 (UBA 2008a). Diese wurden erweitert um zukünftige Trends aus dem Zentralen System Emissionen (ZSE) des Umweltbundesamtes, welche auf Arbeiten von Osterburg/Dämmgen (2008) basieren. Die zukünftige Entwicklung der Aktivitätsdaten und Treibhausgas-Emissionen unterliegt nachfolgenden Annahmen (s. Abschnitt 3.5.2.3). Diese Projektionen werden als MitMaßnahmen-Szenario (MMS) definiert.

### 3.5.2.3 Annahmen und Parameter

Die Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen in der deutschen Landwirtschaft ist abhängig von der Nutzung der Böden (CRF 4 D), der tierischen Fermentation (CRF 4 A) und der Düngewirtschaft (CRF 4 B). Wesentliche Annahmen der Projektionen stehen untereinander in Interaktion. Im Einzelnen gliedern sich diese für die aus dem ZSE abgeleiteten Trends wie folgt (vgl. Osterburg/Dämmgen 2008):

- Die Milchquote besteht bis 2014/2015<sup>41</sup> fort mit einer Aufstockung in Höhe von 1,5 % gegenüber 1999 bzw. 2 % ab April 2008 auf 28,8 Mio. Tonnen gemäß Beschluss des Europäischen Rates. Der darauffolgende Vorschlag der EU-Kommission vom Mai 2008 beinhaltet eine weitere Erhöhung in vier Schritten von jeweils 1 %, bis 2014/2015 um den Ausstieg aus der Quotenregelung vorzubereiten. Zusammen mit den Produktivitätssteigerungen in der Milchproduktion von bisher ca. 130 kg pro Platz und Jahr führen diese Maßnahmen zu einem Rückgang der Rinderbestände. Der daraus mit dem Regionalisierten Agrar- und Umweltinformationssystem (RAUMIS) berechnete Milchviehbestand im Jahr 2015 diene als Referenz zur Schätzung dessen Entwicklung. Aufgrund der Unsicherheiten der politischen Entwicklung sowie unterschiedlicher Preisannahmen lassen sich die kumulierten Effekte auf die Treibhausgas-Emissionen schwer einschätzen.
- Die Entkoppelung der bisher tierbezogenen Direktzahlungen führt bei Mutterkühen, Mastbullen und Schafen zu weiteren Bestandsrückgängen. Deren Entwicklung hängt auch von der zukünftigen Förderung extensiver Weidehaltung mittels Ausgleichszulage und Agrarumweltmaßnahmen ab. Keinen wesentli-

---

<sup>41</sup> In der zugrunde liegenden Quelle wird auf das Wirtschaftsjahr vom 1. April bis 31. März abgestellt.

chen Einfluss auf die Tierbestände hat eine weitere Umstellung auf ökologischen Landbau.

- Die Anbauflächen von Ölsaaten und Mais nehmen (anders als bisher im Rahmen der Entkoppelung der Direktzahlungen erwartet) aufgrund steigender Preise und der Entwicklungen im Bereich der nachwachsenden Rohstoffe zu. Dies geht zu Lasten der Flächenstilllegung und Teilen der Getreidefläche. Die Zunahme zugelassener Energiepflanzen und die steigende Anzahl von Konversionsanlagen verbessern die Möglichkeiten, Stilllegungsflächen für den Anbau nachwachsender Rohstoffe zu nutzen.
- Die Entwicklung des Ölsaatenanbaus hängt vor allem von der Entwicklung der Biodiesel-Nachfrage ab. Eine Steigerung der Anbaufläche von derzeit 1,4 Mio. ha ab dem Jahr 2010 wird in dieser Rechnung flankiert von der Annahme einer erheblichen Steigerung von Importen, die notwendig sind, um die im Verkehrssektor angenommene Steigerung der Biokraftstoffverwendung abzudecken.
- Für die deutsche Zuckerquote wird infolge der Zuckermarktreform eine Erhöhung angenommen. Der Rübenanbau dürfte trotz Zunahme im Nicht-Lebensmittelbereich weiter leicht zurückgehen, da mit weiteren Steigerungen des Ertrags sowie der Importe zu rechnen ist.
- Die Silomaisfläche hängt von rückläufigen Rinderbeständen und zunehmender Produktion für Biogasanlagen ab. Aufgrund der bislang hohen Nahrungsmittelpreise und Flächenverknappung wird eine Stagnation des Neubaus von Biogasanlagen angenommen. Mittelfristig ist jedoch mit einer Zunahme zu rechnen.
- Die Grünlandfläche wird voraussichtlich weiter zurückgehen. Durch „cross compliance“ wird dies bei Erreichen eines bestimmten prozentualen Rückgangs auf Länderebene gegenüber dem Referenzjahr 2005 begrenzt werden. Nach EU-Vorgaben greifen entsprechende Restriktionen bei 10 % Grünlandverlust. In Deutschland ist dies bei 8 % auf Länderebene vorgesehen.
- Der Stickstoff-Mineraldüngereinsatz hängt ab von Preisentwicklungen, der Flächennutzung und Ertragszuwächsen im Pflanzenbau, der Abnahme an organischem Dünger, der Entwicklung der Flächenstilllegung und der Änderungen im Düngungsmanagement.
- Für die Jahre 2010, 2015 und 2020 werden keine Veränderungen der Tierhaltungsverfahren und des Wirtschaftsdüngermanagements angenommen.

### 3.5.2.4 Ergebnisse der Projektionen

Basierend auf den oben genannten Annahmen werden die Projektionen für die Jahre 2010, 2020 und 2030 abgeleitet. Tabelle 3-99 zeigt die historische und projizierte Entwicklung der Aktivitätsdaten zum Tierbestand für die Jahre 1990-2030. Hierbei ist die Anzahl der Rinder und Schafe stark rückläufig. Gegenüber 2005 sinken deren Bestände auf 70 % bzw. 63 % im Jahr 2030. Eine geringe Abnahme auf 92 % ist bei Schweinen zu verzeichnen. Die Pferdebestände nehmen leicht auf 108 % zu, die Geflügelbestände hingegen stark auf 127 %. Für die im Vergleich geringe Anzahl an Ziegen und Büffel lässt sich keine Aussage treffen.

Tabelle 3-99 Entwicklung der landwirtschaftlichen Aktivitätsdaten, 1990-2030

Treibhausgas Quell- und Senkenkategorien	1990	1995	2000	2005	2010	2020	2030
	Treibhausgasinventar 2008				Mit-Maßnahmen-Szenario		
	Aktivitätsdaten (Population) in Tausend						
1. Rinder	19.488	15.890	14.538	13.036	11.440	10.250	9.060
Milchkühe	6.355	5.229	4.570	4.236	3.940	3.622	3.304
Nicht-Milchkühe	13.133	10.661	9.968	8.799	7.500	6.628	5.756
2. Büffel	NE	NE	1	1	NE	NE	NE
3. Schafe	3.310	2.799	2.743	2.643	1.655	1.655	1.655
4. Ziegen	90	100	140	170	NE	NE	NE
5. Kamele und Lamas	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
6. Pferde	491	599	735	785	846	846	846
7. Maultiere und Esel	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
8. Schweine	28.326	21.802	23.400	24.481	23.364	22.954	22.544
9. Geflügel	113.879	110.035	118.303	120.562	113.560	133.123	152.685
10. Andere nicht spezifizierte	NE	NE	89.000	NE	NE	NE	NE
NE = not estimated (nicht geschätzt)							
NO = not occurring (nicht existent)							

Quellen: UBA (2008a), UBA (2008b), Berechnungen Öko-Institut

Tabelle 3-100 Entwicklung der CH<sub>4</sub>-Emissionen in der Landwirtschaft, 1990-2030

Landwirtschaft (CRF 4)	1990	1995	2000	2005	2010	2020	2030
	Treibhausgasinventar 2008				Mit-Maßnahmen-Szenario		
	kt CH <sub>4</sub>						
CH <sub>4</sub> -Emissionen	1.394,9	1.214,8	1.152,8	1.079,2	999,8	935,5	871,1
A. Fermentation	1.146,8	987,8	929,2	873,4	800,4	748,3	696,2
B. Düngewirtschaft	280,0	257,9	253,9	235,9	227,4	215,1	202,8
D. Landwirtschaftliche Böden	-32,0	-31,0	-30,3	-30,2	-28,1	-28,0	-27,9
C., E., F., G.	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
kt CO <sub>2</sub> -Äqu.							
CH <sub>4</sub> -Emissionen	29.292	25.510	24.209	22.662	20.995	19.645	18.294
Veränderung in %							
Veränderung ggü. 1990		-12,9%	-17,4%	-22,6%	-28,3%	-32,9%	-37,5%
Veränderung ggü. 2005					-7,4%	-13,3%	-19,3%
NO = not occurring (nicht existent)							

Quellen: UBA (2008a), UBA (2008b), Berechnungen Öko-Institut

Tabelle 3-101 Entwicklung der N<sub>2</sub>O-Emissionen in der Landwirtschaft, 1990-2030

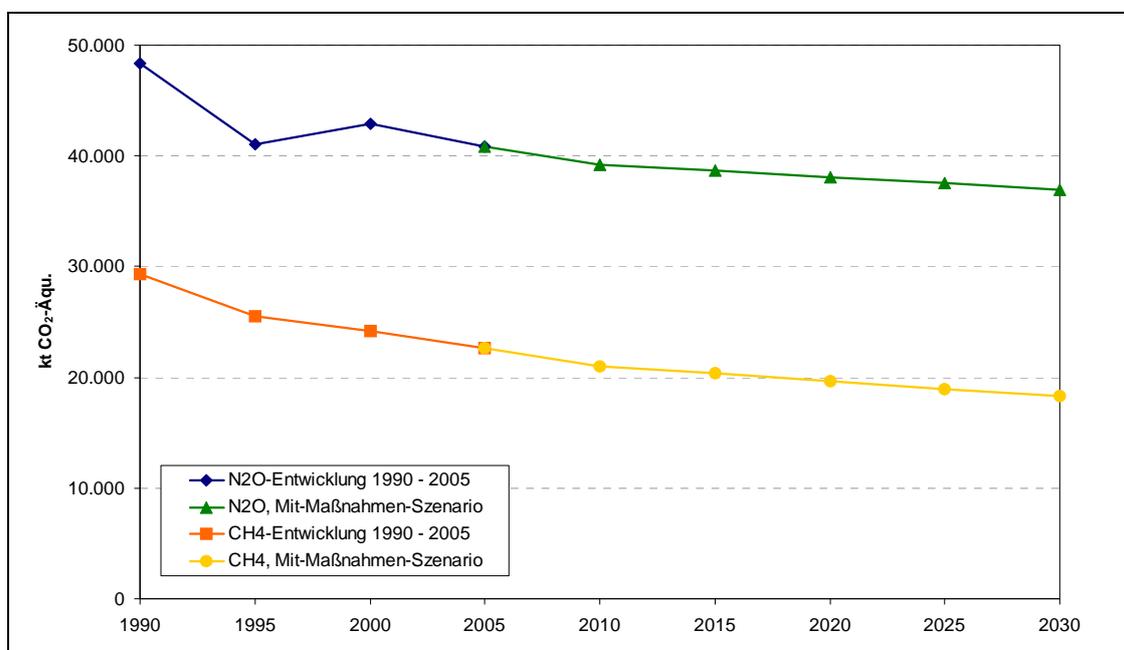
Landwirtschaft (CRF 4)	1990	1995	2000	2005	2010	2020	2030
	Treibhausgasinventar 2008				Projektion (Mit-Maßnahmen-Szenario)		
	kt N <sub>2</sub> O						
N <sub>2</sub> O-Emissionen	156,1	132,5	138,4	131,9	126,5	122,8	119,2
B. Düngewirtschaft	13,2	9,5	9,4	9,8	9,5	9,1	8,7
D. Landwirtschaftliche Böden	142,9	123,0	129,0	122,1	117,0	113,7	110,5
A., C., E., F., G.	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
	kt CO <sub>2</sub> -Äqu.						
N <sub>2</sub> O-Emissionen	48.393	41.079	42.913	40.880	39.207	38.079	36.952
	Veränderung in %						
Veränderung ggü. 1990		-15,1%	-11,3%	-15,5%	-19,0%	-21,3%	-23,6%
Veränderung ggü. 2005					-4,1%	-6,9%	-9,6%

NO = not occurring (nicht existent)

Quellen: UBA (2008a), UBA (2008b), Berechnungen Öko-Institut

Tabelle 3-100 und Tabelle 3-101 zeigen die Auswirkungen der Veränderungen im Tierbestand sowie der entsprechenden Flächennutzung auf die Entwicklung der CH<sub>4</sub>- bzw. N<sub>2</sub>O-Emissionen. Im Vergleich von 2030/2005 (bzw. 2030/1990) verringern sich die gesamten CH<sub>4</sub>-Emissionen in den relevanten Bereichen Fermentation, Düngewirtschaft und Landwirtschaftliche Böden um 19,3 % (37,5 %). Die gesamten N<sub>2</sub>O-Emissionen in den relevanten Bereichen Düngewirtschaft und Landwirtschaftliche Böden nehmen im Vergleich von 2030/2005 (bzw. 2030/1990) um 9,6 % (23,6 %) ab. Abbildung 3-38 führt diese Veränderungen für beide Gase zusammen. Letztlich sinken die landwirtschaftlichen Gesamtemissionen im Vergleich von 2030/2005 (bzw. 2030/1990) um 13,1 % (28,9 %) auf 55.246 kt CO<sub>2</sub>-Äqu. im Jahr 2030.

Abbildung 3-38 Entwicklung der CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen in der Landwirtschaft, 1990-2030



Quellen: UBA (2008a), UBA (2008b), Berechnungen Öko-Institut

### 3.5.3 Abfallwirtschaft

#### 3.5.3.1 Rahmendaten und Maßnahmen

Die Abfallwirtschaft bildet einen entscheidenden Quellbereich sowohl für die CH<sub>4</sub>- als auch für die N<sub>2</sub>O-Emissionen.

Die entscheidenden regulatorischen Rahmenbedingungen für den Abfallsektor sind das Wirken der TA Siedlungsabfall (TASi) und entsprechende Regelungen des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG), der Abfallablagereungsverordnung (AbfAbIV), der Verordnung über Anlagen zur biologischen Behandlung von Abfällen (30. BImSchV), der Novelle der Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen (17. BImSchV), die ab Juni 2005 die Verbringung unbehandelter Abfälle (und damit auch der für die Ausgasung verantwortlichen organischen Stoffe) weitgehend unterbinden und die anderweitige Beseitigung im Wege der Verbrennung oder biologisch-mechanischen Abfallbehandlung ermöglichen (BMU 2006).

Die genannten Maßnahmen sind sämtlich dem Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) zuzuordnen. Angesichts der sehr weit reichenden Wirkungen dieser Maßnahmen wurden keine zusätzlichen Maßnahmen für das Strukturwandel-Szenario (SWS) analysiert.

#### 3.5.3.2 Methodik sowie Annahmen und Parameter

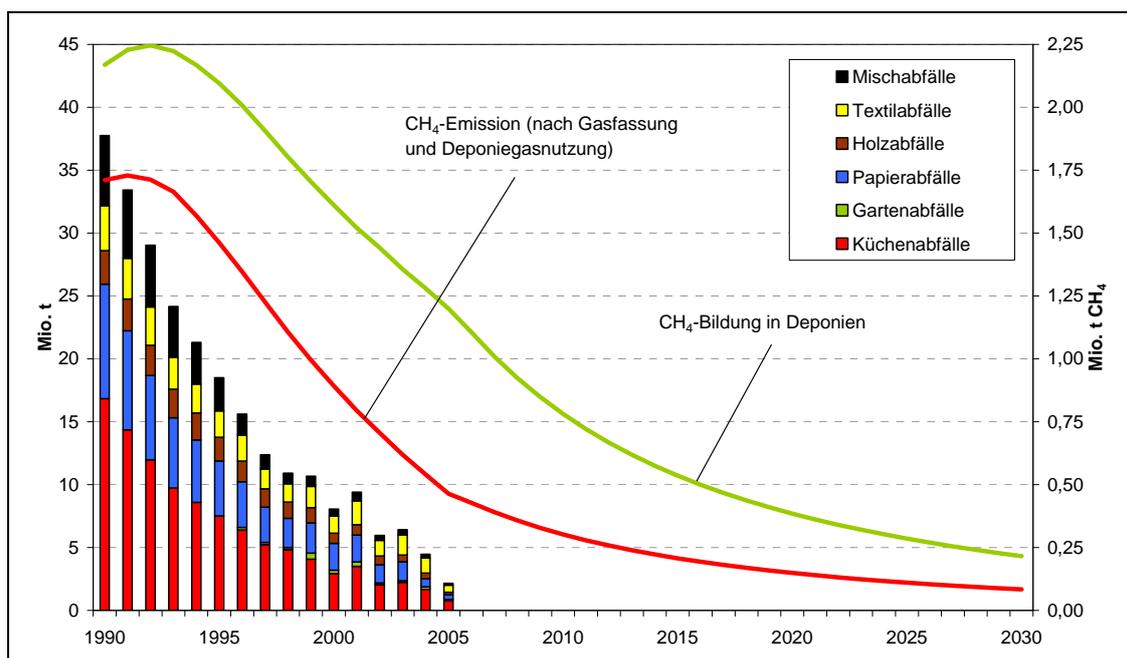
Für die Projektion der CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der Abfallwirtschaft wurden zwei verschiedene Ansätze verfolgt:

- Für die Emissionen aus den kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen wurde für den Projektionszeitraum ein konstantes Emissionsniveau unterstellt. Dies entspricht der Dynamik der letzten Jahre, andere Daten standen für die Entwicklung einer gesonderten Projektion auch nicht zur Verfügung.
- Für die Emissionen aus Deponien und Kompostierungsanlagen sowie aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung wurde auf das Modellinstrumentarium zurückgegriffen, mit dem die Emissionen für die Treibhausgasinventare ermittelt werden.<sup>42</sup> Hinsichtlich des Mengengerüsts für die Abfallverbringung wurde eine Studie von Öko-Institut/ifeu (2005) für das Umweltbundesamt herangezogen.

---

<sup>42</sup> Für die Emissionsermittlung aus Deponien wird dabei ein kinetisches Modell genutzt, bei dem die Ausgasung der deponierten organischen Materialien über die Zeit abgebildet und auch die Erfassung und Nutzung von Deponiegas berücksichtigt wird. Für nähere Details zum Modell vgl. UBA (2006). Für die Emissionen aus den Anlagen zur Kompostierung und biologisch-mechanischen Abfallbehandlung werden die verbrachten Mengen in einfacher Berechnung mit entsprechenden Emissionsfaktoren verknüpft.

Abbildung 3-39 Entwicklung der CH<sub>4</sub>-Emissionen aus Deponien, 1990-2030



Quellen: UBA (2008 a+b), StBA (2008), Berechnungen Öko-Institut

Abbildung 3-39 verdeutlicht die Zusammenhänge zwischen der Abfallverbringung nach Niveau und Struktur, dem Anfall von CH<sub>4</sub> und den CH<sub>4</sub>-Emissionen aus den Deponien unter Berücksichtigung der Deponiegaserfassung und -nutzung im Zeitverlauf. Sehr deutlich wird dabei der nachlaufende Effekt der mit dem kinetischen Modell ermittelten CH<sub>4</sub>-Emissionen. Die signifikante Reduktion des auf Deponien verbrachten organischen Materials führt erst mit einer Verzögerung von 10 bis 15 Jahren zu den entsprechenden Emissionsreduktionen.

### 3.5.3.3 Ergebnisse der Projektionen

Die Ergebnisse der Modellrechnungen für das Mit-Maßnahmen-Szenario zeigen, dass die signifikante Rückführung der CH<sub>4</sub>-Emissionen aus den Deponien die gesamte Emissionsentwicklung des Sektors dominiert. Das Treibhausgaspotenzial der CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der Abfallwirtschaft geht im Zeitraum 2005 bis 2030 um etwa 8 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. zurück. Die Emissionen aus den Anlagen zur Kompostierung und biologisch-mechanischen Abfallbehandlung bleiben etwa gleich bzw. sinken nach 2005 leicht ab.

Tabelle 3-102 Entwicklung der CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der Abfallwirtschaft, 2000-2030

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	kt						
<i>Abfallinput</i>							
Deponien	10.935	8.578	735	735	735	735	735
Kompostierungsanlagen	10.284	12.391	12.500	12.500	12.500	12.500	12.500
Mechanisch-biologische Abfallbehandlung <sup>a</sup>	1.246	2.520	3.707	3.707	3.707	3.707	3.707
<i>CH<sub>4</sub>-Emissionen</i>							
Deponien	892	464	302	207	149	110	84
Kommunale Abwasserbehandlung	8	6	6	6	6	6	6
Kompostierung	26	26	28	28	28	28	28
Mechanisch-biologische Abfallbehandlung	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Zwischensumme CH <sub>4</sub>	926	496	336	241	183	144	117
<i>N<sub>2</sub>O-Emissionen</i>							
Kommunale Abwasserbehandlung	7,47	7,57	7,57	7,57	7,57	7,57	7,57
Kompostierung	0,66	0,68	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71
Mechanisch-biologische Abfallbehandlung	0,29	0,43	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
Zwischensumme N <sub>2</sub> O	8,42	8,67	8,65	8,65	8,65	8,65	8,65
Summe (kt CO <sub>2</sub> -Äqu.)	22.060	13.110	9.734	7.740	6.516	5.707	5.143
<i>ggü. 2005</i>	68,3%	-	-25,7%	-41,0%	-50,3%	-56,5%	-60,8%
Anmerkung: <sup>a</sup> relevant für die Treibhausgasemissionen ist nur der Anteil an der Gesamtmenge, der in MBA-Anlagen mit biologischer Stufe behandelt wird							

Quellen: UBA (2008 a+b), Öko-Institut/ifeu (2005), Berechnungen Öko-Institut

Vor dem Hintergrund der gravierenden Emissionsminderung durch die bereits ergriffenen Maßnahmen zur Rückführung der Treibhausgasemissionen aus der Abfallwirtschaft wurden für das Strukturwandel-Szenario keine weitergehenden Maßnahmen in der Abfallwirtschaft untersucht.

### 3.6 Entwicklung der gesamten Treibhausgas-Emissionen und deren Komponenten

#### 3.6.1 Entwicklung der Emissionen nach Treibhausgasen

##### 3.6.1.1 Mit-Maßnahmen-Szenario

In der Tabelle 3-103 ist die Entwicklung der Emissionen von CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFKW, FKW sowie SF<sub>6</sub> für das Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) zusammengestellt, wobei in dieser Zusammenstellung die den internationalen Treibstoffbunkerungen (Hochseeschifffahrt und internationaler Flugverkehr) zuzurechnenden Treibhausgasemissionen gesondert ausgewiesen und nicht in die Gesamtsummen einbezogen werden.

Im Zeitraum 2005 bis 2030 werden die Treibhausgasemissionen um 17,8 % zurückgeführt, im Vergleich zum Basisjahr des Kyoto-Protokolls entspricht dies einer Emissionsminderung von 33 %. Der größte Emissionsminderungsbeitrag entfällt auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen, in diesem Bereich werden fast 80 % der gesamten Emissionsreduktion erbracht. Etwa gleiche Teile entfallen auf die Zurückführung des Ausstoßes von CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O. Die Übersicht verdeutlicht aber auch, dass vor allem im Bereich des internationalen Verkehrs der Steigerungstrend in Bezug auf die Emissionen im MMS nicht gebrochen werden kann. Ausgehend von einem niedrigen Basisniveau bleiben im MMS die summarischen Emissionen der synthetischen Gase HFKW, FKW und SF<sub>6</sub> etwa konstant, wobei sich für HFKW und SF<sub>6</sub> steigende und für FKW sinkende Emissionstrends ergeben.

Tabelle 3-103 Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen im Mit-Maßnahmen-Szenario nach Gasen, 2000-2030

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	Mio. t CO <sub>2</sub> -Äqu.						
Kohlendioxid	883,4	876,9	842,5	841,5	768,9	767,8	735,3
Methan	64,7	47,7	40,7	35,9	31,4	29,5	27,8
Lachgas	59,1	65,5	59,5	51,1	50,0	49,6	48,7
HFKW	6,5	9,9	12,3	11,2	10,1	10,1	10,1
FKW	0,8	0,7	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
SF <sub>6</sub>	5,1	3,4	2,4	2,9	3,5	3,5	3,5
Gesamt	1.019,5	1.004,0	957,9	943,1	864,2	860,8	825,7
ggü. 2005	1,5%	-	-4,6%	-6,1%	-13,9%	-14,3%	-17,8%
ggü. 1990	-17,0%	-18,2%	-22,0%	-23,2%	-29,6%	-29,9%	-32,7%
ggü. Basisjahr <sup>a</sup>	-17,3%	-18,5%	-22,3%	-23,5%	-29,9%	-30,2%	-33,0%
Nachrichtlich: Internat. ziviler Luftverkehr und internat. Seeverkehr	24,8	29,3	32,8	36,3	39,6	42,9	46,0
Anmerkung: <sup>a</sup> das Basisjahr ist 1990 für Kohlendioxid, Methan und Lachgas sowie 1995 für HFKW, FKW und Schwefelhexafluorid, als Basisemission wurde der in FCCC/KP/CMP/2008/9/Rev.1 festgelegte Wert verwendet							

Quellen: UBA (2008 a+b), Berechnungen Fraunhofer ISI, IEF-STE und Öko-Institut

Angesichts der vergleichsweise langen Vorlaufzeiten der für die Emissionsminderungen notwendigen Maßnahmen nimmt die Dynamik der Emissionsminderung im Zeitverlauf tendenziell zu.

### 3.6.1.2 Strukturwandel-Szenario

Im Strukturwandel-Szenario (SWS) werden durch die deutlich ambitionierteren Politiken und Maßnahmen deutlich größere Emissionsminderungen erbracht. Bis zum Jahr 2030 belaufen sich die gesamten Emissionsminderungen auf 48,9 % (im Vergleich zu 2005) bzw. 58 % (im Vergleich zum Basisjahr des Kyoto-Protokolls).

Tabelle 3-104 Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen im Strukturwandel-Szenario nach Gasen, 2000-2030

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	Mio. t CO <sub>2</sub> -Äqu.						
Kohlendioxid	883,4	876,9	811,7	744,2	609,6	532,6	431,1
Methan	64,7	47,7	40,6	35,5	30,3	27,7	25,3
Lachgas	59,1	65,5	59,2	50,1	48,5	47,5	46,1
HFKW	6,5	9,9	11,6	9,4	7,3	7,3	7,3
FKW	0,8	0,7	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
SF <sub>6</sub>	5,1	3,4	2,0	2,3	2,7	2,7	2,7
Gesamt	1.019,5	1.004,0	925,5	841,9	698,7	618,1	512,8
ggü. 2005	1,5%	-	-7,8%	-16,1%	-30,4%	-38,4%	-48,9%
ggü. 1990	-17,0%	-18,2%	-24,6%	-31,4%	-43,1%	-49,7%	-58,2%
ggü. Basisjahr <sup>a</sup>	-17,3%	-18,5%	-24,9%	-31,7%	-43,3%	-49,8%	-58,4%
Nachrichtlich:							
Internat. ziviler Luftverkehr und internat. Seeverkehr	24,8	29,3	31,2	20,2	21,5	22,8	24,0
Anmerkung: <sup>a</sup> das Basisjahr ist 1990 für Kohlendioxid, Methan und Lachgas sowie 1995 für HFKW, FKW und Schwefelhexafluorid, als Basisemission wurde der in FCCC/KP/CMP/2008/9/Rev.1 festgelegte Wert verwendet							

Quellen: UBA (2008 a+b), Berechnungen Fraunhofer ISI, IEF-STE und Öko-Institut

Der Großteil dieser Emissionsentwicklung (Tabelle 3-104) ist wiederum auf die Projektion für die CO<sub>2</sub>-Emissionen zurückzuführen. Im SWS beträgt der Anteil der CO<sub>2</sub>-Emissionen an der gesamten Emissionsminderung etwa 91 %, auch im SWS sind die Beiträge der Emissionsentwicklung für CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O nahezu gleichgewichtig. Herauszuheben ist aber auch, dass im SWS auch für die synthetischen Treibhausgase der Wachstumstrend gebrochen und sinkende Emissionsverläufe erzielt werden können. Gleichwohl bleiben die Beiträge von HFKW, FKW und SF<sub>6</sub> zur gesamten Emissionsminderung vergleichsweise gering.

Mit Blick auf die dem internationalen Verkehr zuzurechnenden Emissionen wird im SWS – bedingt durch die durchgreifenden Maßnahmen im Bereich des internationalen Flugverkehrs – bis 2020/2030 eine Rückführung unter das Niveau von 2005 erreicht.

### 3.6.2 Entwicklung der Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen

#### 3.6.2.1 Mit-Maßnahmen-Szenario

Eine nach Quellbereichen strukturierte Übersicht über die Emissionsentwicklung im Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) für den Zeitraum 2000 bis 2030 bietet die Tabelle 3-105. Etwa ein Drittel der in diesem Zeitraum erzielten Emissionsminderungen wird von den Energiesektoren, vor allem der Stromerzeugung erbracht. Den zweitgrößten Beitrag erbringen im MMS mit jeweils etwa 16 % die privaten Haushalte und der (nationale) Verkehr (ohne Berücksichtigung der indirekten THG-Effekte von importierten Biokraftstoffen). Der GHD-Sektor und Industrieprozesse erbringen mit Beiträgen von 12 % und 10 % weitere signifikante Emissionsminderungen.

Tabelle 3-105 Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen im Mit-Maßnahmen-Szenario nach Quellbereichen, 2000-2030

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	Mio. t CO <sub>2</sub> -Äqu.						
Energiesektoren	351,3	366,1	344,5	352,7	299,6	315,8	307,2
Industrie	99,2	104,6	99,5	100,2	101,3	105,1	107,7
GHD	54,6	54,2	50,9	47,2	42,8	37,8	32,0
Haushalte	118,9	116,2	114,5	108,6	102,1	95,0	87,0
Verkehr	184,3	165,5	166,3	167,0	157,7	148,9	136,6
Flüchtige Emissionen aus Energiesektoren	19,8	12,7	11,5	9,3	6,7	6,3	5,8
Industrieprozesse	101	106	100	90	89	89	88
Produktverwendung	1	1	1	1	1	1	1
Landwirtschaft	67	64	60	59	58	56	55
Abfallwirtschaft	22	14	10	8	7	6	5
Gesamt	1.019,5	1.004,0	957,9	943,1	864,2	860,8	825,7
ggü. 2005	1,5%	-	-4,6%	-6,1%	-13,9%	-14,3%	-17,8%
ggü. 1990	-17,0%	-18,2%	-22,0%	-23,2%	-29,6%	-29,9%	-32,7%
ggü. Basisjahr <sup>a</sup>	-17,3%	-18,5%	-22,3%	-23,5%	-29,9%	-30,2%	-33,0%
Nachrichtlich:							
Internat. ziviler Luftverkehr und internat. Seeverkehr	24,8	29,3	32,8	36,3	39,6	42,9	46,0
Anmerkung: <sup>a</sup> das Basisjahr ist 1990 für Kohlendioxid, Methan und Lachgas sowie 1995 für HFKW, FKW und Schwefelhexafluorid, als Basisemission wurde der in FCCC/KP/CMP/2008/9/Rev.1 festgelegte Wert verwendet							

Quellen: UBA (2008 a+b), Berechnungen Fraunhofer ISI, IEF-STE und Öko-Institut

Hinsichtlich der Emissionsdynamik ist vor allem auf die prozessbedingten Emissionen sowie die Abfallwirtschaft hinzuweisen. Die gesamten Treibhausgasemissionen des Abfallsektors sinken im Zeitraum 2005 bis 2030 um fast zwei Drittel, die flüchtigen Treibhausgasemissionen aus den Energiesektoren werden in diesem Zeitraum um mehr als 55 % gemindert, die prozessbedingten Treibhausgasemissionen sinken um ca. 17 %. In den Endverbrauchssektoren – mit Ausnahme der Industrie – sowie im Bereich der Energieumwandlungen werden Emissionsminderungen in der Bandbreite von 16 % (Energiesektoren) bis 41 % (GHD-Sektor) erbracht, wobei die Emissionsminderungen für den Verkehrssektor bei 17,5 % und für die Privathaushalte bei etwa 25 % liegen. Die Emissionen der Industrie (mit Industriekraftwerken) legen mit etwa 3 % im Zeitraum 2005 bis 2030 leicht zu.

### 3.6.2.2 Strukturwandel-Szenario

Eine deutlich stärkere Rolle spielen die Energiesektoren bei der weiteren Reduktion von Treibhausgasemissionen im Strukturwandel-Szenario (SWS), die in Tabelle 3-106 verdeutlicht wird. Etwa 50 % der gesamten Emissionsminderung entfallen hier auf die Energiesektoren, erhebliche Anteile entfallen im SWS aber auch auf den Verkehrssektor (13 %) und die privaten Haushalte (16 %) bzw. den GHD-Sektor (9 %).

Tabelle 3-106    Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen im Strukturwandel-Szenario nach Quellbereichen, 2000-2020

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	Mio. t CO <sub>2</sub> -Äqu.						
Energiesektoren	351,3	366,1	328,3	292,2	204,8	168,6	116,7
Industrie	99,2	104,6	96,6	98,9	101,3	104,8	97,6
GHD	54,6	54,2	50,3	41,2	31,0	21,0	12,5
Haushalte	118,9	116,2	113,6	99,7	78,5	57,4	36,5
Verkehr	184,3	165,5	156,2	146,4	128,5	115,3	102,4
Flüchtige Emissionen aus Energiesektoren	19,8	12,7	11,4	8,9	5,6	4,5	3,4
Industrieprozesse	101	106	98	87	84	83	82
Produktverwendung	1	1	1	1	1	1	1
Landwirtschaft	67	64	60	59	58	56	55
Abfallwirtschaft	22	14	10	8	7	6	5
Gesamt	1.019,5	1.004,0	925,5	841,9	698,7	618,1	512,8
ggü. 2005	1,5%	-	-7,8%	-16,1%	-30,4%	-38,4%	-48,9%
ggü. 1990	-17,0%	-18,2%	-24,6%	-31,4%	-43,1%	-49,7%	-58,2%
ggü. Basisjahr <sup>a</sup>	-17,3%	-18,5%	-24,9%	-31,7%	-43,3%	-49,8%	-58,4%
Nachrichtlich:							
Internat. ziviler Luftverkehr und internat. Seeverkehr	24,8	29,3	31,2	20,2	21,5	22,8	24,0
Anmerkung: <sup>a</sup> das Basisjahr ist 1990 für Kohlendioxid, Methan und Lachgas sowie 1995 für HFKW, FKW und Schwefelhexafluorid, als Basisemission wurde der in FCCC/KP/CMP/2008/9/Rev.1 festgelegte Wert verwendet							

Quellen: UBA (2008 a+b), Berechnungen Fraunhofer ISI, IEF-STE und Öko-Institut

Mit Blick auf die spezifischen Minderungsbeiträge sind vor allem drei Gruppen hervorzuheben. Spezifische Treibhausgasreduktionen im Zeitraum 2005 bis 2030 in der Größenordnung von etwa 68 bzw. 69 % entfallen auf die Stromerzeugung sowie den Haushaltssektor. Für den GHD-Sektor beträgt der Emissionsrückgang etwa 77 %. Emissionsminderungen von über 73 % werden bei den flüchtigen Treibhausgasemissionen des Energiesektors und von knapp 63 % in der Abfallwirtschaft erzielt. Eine Rückführung des Treibhausgas-Ausstoßes im Bereich von 38 % erfolgt im (nationalen) Verkehr, im Bereich der Industrieprozesse werden die Emissionen um knapp 23 % reduziert. Geringer fallen im Gesamtzeitraum 2005 bis 2030 die Emissionsminderungen für die Landwirtschaft (-13 %) sowie für die Industrie (-7 %) aus.

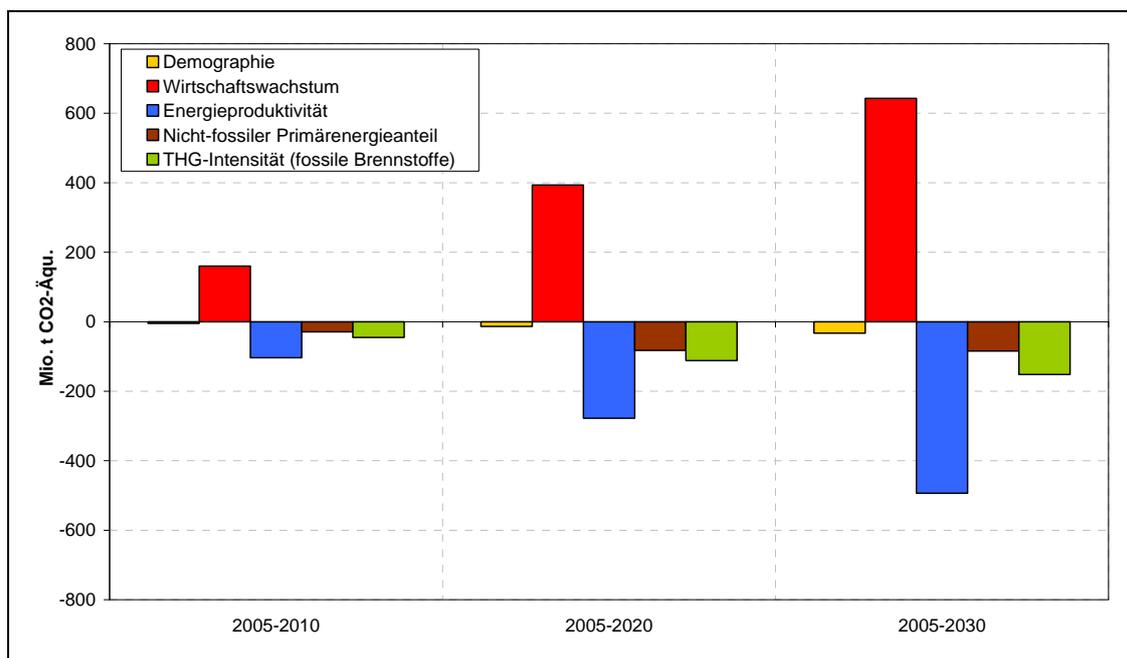
### 3.6.3 Komponentenanalyse und Abschätzung der Effekte der aktuellen wirtschaftlichen Entwicklungen

#### 3.6.3.1 Mit-Maßnahmen-Szenario

Die Abbildung 3-40 zeigt das Ergebnis der Komponentenanalyse für die Entwicklung der energiebedingten Treibhausgasemissionen. Für die verschiedenen Komponenten sind unterschiedliche Entwicklungsmuster festzustellen.<sup>43</sup> Stetige Entwicklungstrends sind für die Beiträge des Wirtschaftswachstums (stark emissionserhöhend) sowie die Energieproduktivität und die Emissionsintensität der fossilen Energieträger (beide emissionsmindernd) festzustellen. Deutliche Änderungen im Zeitverlauf ergeben sich auch für die demographische Entwicklung (zum Ende des Szenariozeitraums ein leicht zunehmender emissionsmindernder Beitrag) sowie den Anteil der nicht-fossilen Energieträger (nach 2020 nahezu stagnierender Beitrag).

Insgesamt erbringt die Erhöhung der gesamtwirtschaftlichen Energieproduktivität den weitaus größten Beitrag zur gesamten Emissionsminderung. Die jährliche Verbesserung der gesamtwirtschaftlichen Energieproduktivität liegt im Zeitraum 2005 bis 2020 bei 1,7 % und in der Periode 2005 bis 2040 bei 1,8 %.

Abbildung 3-40 Komponentenanalyse für die energiebedingten Treibhausgasemissionen im Mit- Maßnahmen-Szenario, 2005-2030



Quelle: Berechnungen des Öko-Institut

<sup>43</sup> Auf die durch die energiestatistischen Konventionen für die primärenergieseitige Bewertung von erneuerbaren Energien und Kernenergie ist an anderer Stelle bereits hingewiesen worden. Eine Bereinigung der Komponentenanalyse um diese statistischen Artefakte wurde nicht vorgenommen.

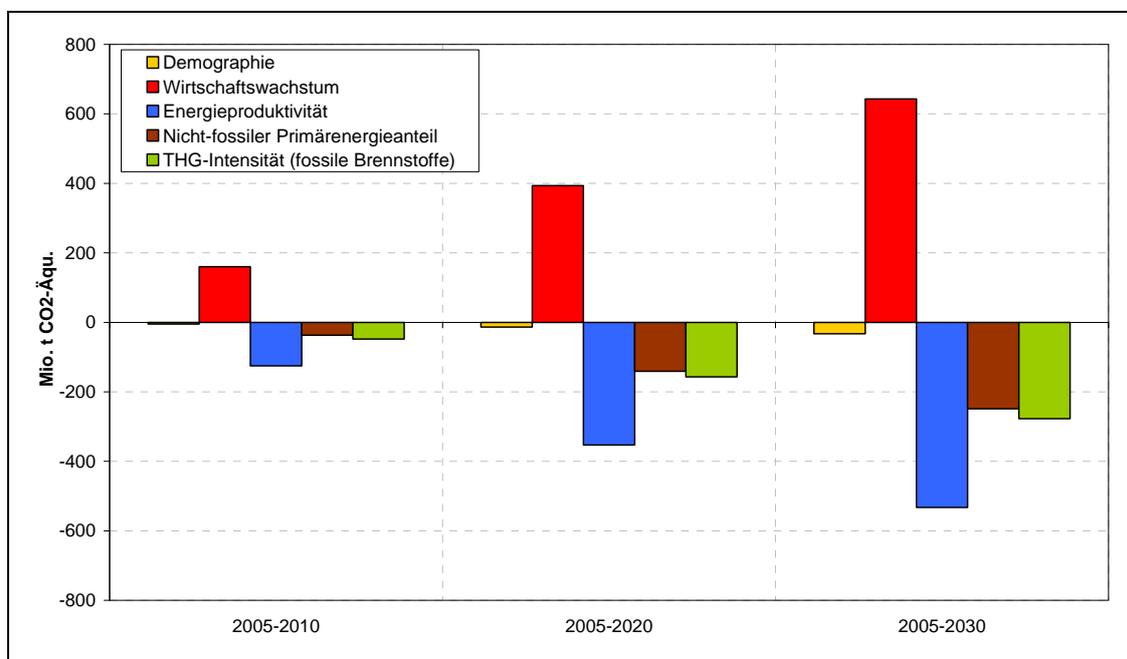
### 3.6.3.2 Strukturwandel-Szenario

Die Abbildung 3-42 zeigt die Ergebnisse der Komponentenanalyse für die energiebedingten Treibhausgasemissionen im Strukturwandel-Szenario.

Unverändert bleiben im Vergleich zu den anderen Szenarien die Beiträge der demographischen und wirtschaftlichen Entwicklung, die bis zum Jahr 2030 einen emissionserhöhenden Beitrag von ca. 640 Mio. CO<sub>2</sub>-Äqu. (Wirtschaftswachstum) bzw. einen leicht emissionsmindernden Beitrag von ca.30 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. (Bevölkerungsentwicklung) repräsentieren. Dem entgegen wirken der verstärkte Ausbau der erneuerbaren Energien (Minderungsbeitrag von ca. 250 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. für die Periode 2005-2030), die Verringerung der Emissionsintensität der fossilen Energieträger (280 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu.) sowie die massive Verbesserung der Energieproduktivität (530 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu.). Der verstärkte Ausbau der erneuerbaren Energien und die Verminderung der Treibhausgasintensität der fossilen Energieträger (verursacht durch einen geringeren Anteil noch-emissionsintensiver Brennstoffe) erreicht damit im SWS etwa die Größenordnung des Emissionsminderungsbeitrages einer erhöhten Energieproduktivität.

Die gesamtwirtschaftliche Energieproduktivität verbessert sich im Zeitraum 2005 bis 2020 um etwa 50 % und verdoppelt sich im Zeitraum bis 2030 (jeweils inklusive der energiestatistischen Artefakte in Bezug auf die primärenergetische Bewertung von Kernenergie und erneuerbaren Energien). Die jährliche Verbesserung der Energieproduktivität liegt damit im Bereich von 2,7 % (2005-2020) bzw. 2,8 % (2005-2030).

Abbildung 3-41 Komponentenanalyse für die energiebedingten Treibhausgasemissionen im Strukturwandel-Szenario, 2005-2030



Quellen: Berechnungen des Öko-Instituts.

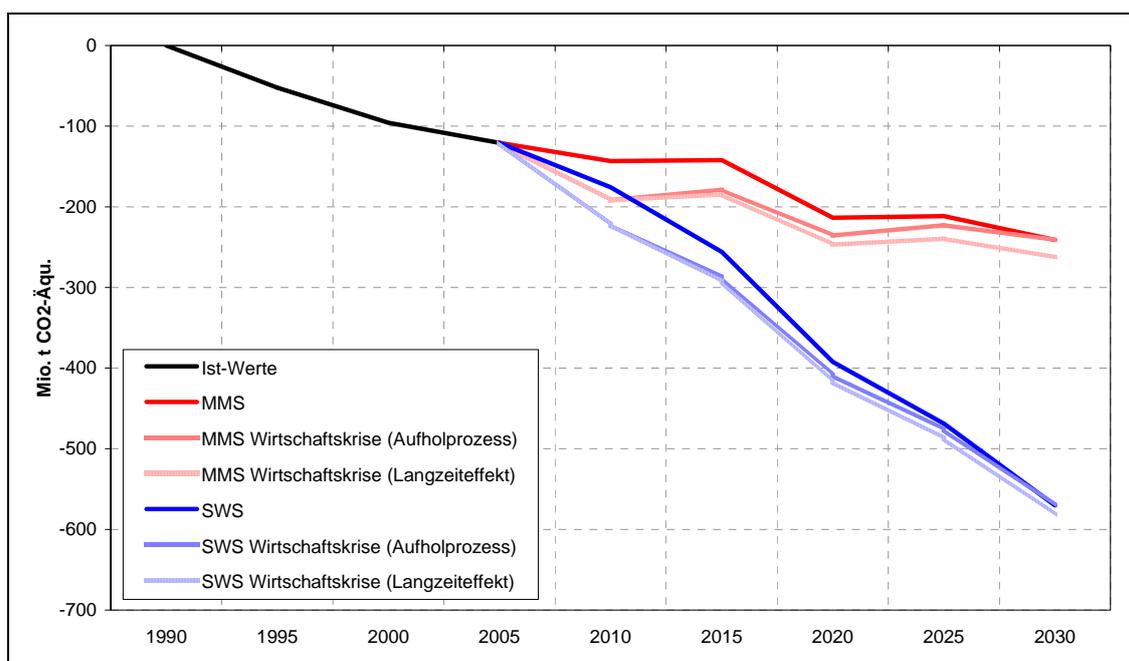
### 3.6.3.3 Sensitivitätsanalyse für die Effekte der aktuellen Wirtschaftskrise

Mit dem Instrumentarium der Komponentenanalyse für die energiebedingten Treibhausgasemissionen wurde eine grobe Sensitivitätsanalyse für die möglichen Effekte der aktuellen Wirtschaftskrise auf die zukünftig zu erwartenden Emissionsniveaus angestellt. Grundlage dieser Sensitivitätsanalyse sind die folgenden Annahmen:

- Das Bruttoinlandsprodukt sinkt im Jahr 2009 um etwa 6 %. In einer ersten Variante wird dieser Einbruch des BIP im Zeitraum bis 2030 wieder voll aufgeholt (Variante „Aufholprozess“). In einer zweiten Variante („Langzeiteffekt“) wird die Nachkrisenphase zwar durch ein etwas höheres Wachstum charakterisiert, bis zum Jahr 2030 wird jedoch nur die Hälfte des wirtschaftlichen Einbruchs in den Jahren 2008/2009 durch erhöhtes Wachstum kompensiert.
- Alle anderen Parameter der Komponentenanalyse (Bevölkerungsentwicklung, gesamtwirtschaftliche Energieproduktivität, Anteil nicht-fossiler Energieträger, Emissionsintensität der fossilen Brennstoffe) bleiben konstant.

Für das MMS ergibt sich im Jahr 2020 in der Variante „Aufholprozess“ ein um etwa 22 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. niedrigeres Emissionsniveau, für das Jahr 2030 verbleibt definitionsgemäß keine Differenz. In der Variante „Langzeiteffekt“ errechnet sich für das Jahr 2020 ein um 33 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. und für das Jahr 2030 ein um 21 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. niedrigeres Emissionsniveau. Für das SWS beläuft sich der Effekt für 2020 in der Variante „Aufholprozess“ auf 17 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. In der Variante „Langzeiteffekt“ ergeben sich um 25 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. (2020) bzw. 12 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. niedrigere Emissionen.

Abbildung 3-42 Sensitivitätsanalyse für die Effekte der Wirtschaftskrise 2008/2009 auf die energiebedingten Treibhausgasemissionen im Mit-Maßnahmen- und im Strukturwandel-Szenario, 2005-2030



Quellen: Berechnungen des Öko-Instituts.

## 4 Literatur

13. BImSchV: Dreizehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Großfeuerungs- und Gasturbinenanlagen) (13. BImSchV).
  17. BImSchV: Siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von )Abfällen (17. BImSchV).
  30. BImSchV: Dreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Anlagen zur biologischen Behandlung von Abfällen). 20.02.2001
- AbfAbIV (Abfallablagerungsverordnung): Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen.
- AGEB (Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen) 2008: Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990 bis 2007 und Energiebilanz für das Jahr 2005. Stand September 2008. Berlin, Köln (<http://ag-energiebilanzen.de>).
- AGFW 2005: Perspektiven der Fernwärme und der Kraft-Wärme-Kopplung - Ergebnisse und Schlussfolgerungen aus der AGFW-Studie "Pluralistische Wärmeversorgung " (Vorhaben gefördert durch das BMWi). Arbeitsgemeinschaft für Wärme und Heizkraftwirtschaft e.V. (AGFW), Frankfurt
- AGFW 2008: Die Rolle der Kraft-Wärme-Kopplung zur Erreichung der Klimaschutzziele, 11. Juni 2008, Berlin, AGFW - Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK, Vortrag von RA Topp, Stv. Geschäftsführer der Arbeitsgemeinschaft für Wärme und Heizkraftwirtschaft e.V. (AGFW).
- Almeida, A.T.; Fonseca, P.; Ferreira, F.; Guisse, F.; Blaise, J.; Clair, E.; Diop, A.; Previ, A.; Dominioni, A.C.; Di Pillo, M.; Russo, S.; Falkner, H.; Reichert, J.; Tönsing, E.; Malmose, K. 2001: Improving the penetration of energy-efficient motors and drives - In Cooperation with University of Coimbra / Department of Electrical Engineering; Electricite de France; ENEL (Italy); ETSU (UK); NESA (Denmark), Coimbra(Portugal): University of Coimbra.
- AtG: Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz - AtG).
- BAFA 2000: Erfahrungsbericht zur Vor-Ort-Beratung an bestehenden Gebäuden, Studie im Auftrag des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle. Eschborn
- BAFA 2008: BAFA-Marktanreizprogramm 2008. Wärmepumpe, Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle. Eschenborn
- BDH 2008: Europäischer und nationaler Wärmemarkt - Entwicklungen und Potenziale, Vortrag von Andreas Lücke, Hauptgeschäftsführer des BDH, Berliner Energie-

- tage 2008, Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V.
- BEI/IWU 2007: *Effekte des KfW-CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramms 2005 und 2006, Gutachten im Auftrag der KfW-Bankengruppe*. Bremer Energie Institut (BEI), Institut für Wohnen (IWU), Universität Bremen - Institut für Statistik, Bremen, Darmstadt
- BEI 2007: *Effekte des CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramms 2005 und 2006 - Zusatzauswertung Dezember 2007*. Bremer Energie Institut (BEI), Bremen
- BEI/IWU 2008: *Effekte des CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramms 2007, Gutachten im Auftrag der KfW-Bankengruppe*. Bremer Energie Institut (BEI), Institut für Wohnen und Umwelt (IWU), Universität Bremen - Institut für Statistik, Bremen, Darmstadt
- Beckmann, K. J., U. Meyer, et al. 2008: Evaluierung des Bund-Länder-Programms „Stadtumbau Ost“, Zentrale Ergebnisse und Empfehlungen des Gutachtens, Gutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und dem Bundesamt für Bau- und Raumwesen (BBR). Deutsches Institut für Urbanistik (Difu), IfS Institut für Stadtforschung und Strukturpolitik GmbH, Berlin
- Beyer & Lippert 2008: Rechtliche Voraussetzungen einer Steigerung der Energieeffizienz durch Wärmecontracting in der Wohnungswirtschaft als Beitrag zu Energiesicherheit und Klimaschutz, im Auftrag des ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. Institut für Energiewirtschaftsrecht - Kompetenzzentrum für Technik, Wirtschaft, Recht, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Jena
- BGBI. I Nr. 33, (S. 1534 – 1561) 2006: Gesetz zur Neuregelung der Besteuerung von Energieerzeugnissen und zur Änderungen des Stromsteuergesetzes vom 15. Juli 2006. BGBI. I Nr. 33, S. 1534 – 1561.
- Biokraftstoffquotengesetz Gesetz zur Einführung einer Biokraftstoffquote durch Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und zur Änderung energie- und stromsteuerrechtlicher Vorschriften
- BITKOM (Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V.) 2008: Die Zukunft der digitalen Consumer Electronics, Berlin, ([http://www.bitkom.org/de/themen\\_gremien/36409\\_49202.aspx](http://www.bitkom.org/de/themen_gremien/36409_49202.aspx))
- BMU 2004: *Tabellen zur Förderung von Erneuerbaren Energien*. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin
- BMU 2006: Siedlungsabfallentsorgung in Deutschland. 1. September 2006. Berlin. <http://www.bmu.de>.
- BMU 2007a: Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung - Stand: November 2007, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin

- BMU 2007b: Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt vom 05. Dezember 2007. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin
- BMU 2008a: Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2007 Stand: 12.März 2008. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin. [http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ee\\_hintergrund2007.pdf](http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ee_hintergrund2007.pdf). downloaded 30.07.2008a.
- BMU 2008b: Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich und zur Änderung damit zusammenhängender Vorschriften (Erneuerbare-Energien-Gesetz, EEG 2009). Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin. <http://www.bgblportal.de/BGBl/bgbl1f/bgbl108s2074.pdf>. downloaded 07.11.2008.
- BMVBS 2008: Initiativen der Bundesregierung zur Steigerung der Energieeffizienz in Gebäuden - Ordnungsrecht, Förderung, Beispiele. Berlin, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Vortrag von Dr. Frank Heidrich am 06.05.2008 im Rahmen der Berliner Energietage
- BMVBS 2008a: 500 Millionen Euro mehr für erfolgreiches Gebäudesanierungsprogramm, Pressemitteilung 217/2008 vom 08. August 2008. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Minister Tiefensee, Berlin
- BMWi/BMF 2008: Beschäftigungssicherung durch Wachstumsstärkung Maßnahmenpaket der Bundesregierung vom 05. November 2008. Berlin, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Bundesministerium für Finanzen (BMF)
- BMWi 2007: Pressemitteilung vom 21.11.2007. BMWi und KfW Förderbank fördern die betriebliche Energieeffizienz. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) [www.bmwi.de](http://www.bmwi.de)
- Buderus 2005: Energiekennwerte - Hausanlagen zum Heizen und zur Trinkwarmwasserbereitung in deutschen Mehrfamilienhäusern. Bosch Thermotechnik GmbH, Buderus Deutschland, Wetzlar
- Bundesanzeiger 2008: Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Beschaffung energieeffizienter Produkte und Dienstleistungen vom 23.01.2008
- BWP (Bundesverband Wärmepumpe) 2008: Vortrag des Geschäftsführers Karl-Heinz Stawiarski des BWP zum Marktanreizprogramm und EEWärmeG. Bundesverband Wärmepumpe e.V., Götz
- CE (CE Solutions for environment, economy and technology Delft) 2005: Giving wings to emission trading. Inclusion of aviation under the European Emission Trading System (ETS): Design and impacts. Delft, Juli 2005.

- Darby, S. 2006: The Effectiveness of Feedback on Energy Consumption, A Review for DEFRA of the Literature on Metering, Billing and Direct Displays, Environmental Change Institute, University of Oxford, Oxford
- dena (Deutsche Energie Agentur) 2008: Initiative-Energieeffizienz (<http://www.initiative-energieeffizienz.de>) Zugriff 10.12.2008)
- Deutscher Bundestag 2008: Beitrag der KfW-CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramme zum Klimaschutz - Antwort der Bundesregierung auf eine Kleine Anfrage. Berlin, Vertrieb: Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH, Gesamtherstellung: Heenemann GmbH, Köln
- DIW (Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung) 2009: Verkehr in Zahlen 2008/2009. CD-ROM. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) im Auftrag des Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS),
- DIW / FZJ-STE / FhG-ISI / Öko-Institut 1999: Politiksznarien für den Klimaschutz. Szenarien und Maßnahmen zur Minderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland bis 2020. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Forschungszentrum Jülich (FZJ-STE), Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (FhG-ISI), Öko-Institut. Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt/Environment, Band 20. Jülich.
- DIW / Öko-Institut / FhG-ISI 2006: Emissionshandel. Entwicklung eines nationalen Allokationsplans im Rahmen des EU-Emissionshandels. Endbericht zum UFOPLAN-Vorhaben 202 41 186/03, Berlin/Karlsruhe.
- ECMT (European Conference of Ministers of Transport) 2006: Speed Management, OECD und ECMT, Paris.
- EEA 2007: EMEP/CORINAIR Atmospheric Emissions Inventory Guidebook, Methodology for the calculation of exhaust emissions – SNAPs 070100-070500, NFRs 1A3bi-iv, EEA.
- EEWärmeG 2008: Entwurf eines Gesetzes zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-WärmeGesetz – EEWärmeG) und Begründung des Gesetzesvorschlages
- E&M 2006: Potenziale der dezentralen KWK im deutschen Strom- und Wärmemarkt unter Einfluss des neuen Energiewirtschaftsrechts und Emissionshandels. Abschlussbericht. Arbeitsgemeinschaft Energie & Management und Technomar GmbH, Herrsching, München, 2006.
- EnEV 2002: Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energie-Einspar-Verordnung - EnEV), in der Fassung vom 16.11.2001 (BGBl. I 2001, S. 3085)
- EnEV 2004: Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energie-Einspar-Verordnung - EnEV), in der Fassung vom 02.12.2004 (BGBl. I S. 2304, 2341)

- EnEV 2007: Verordnung zur Änderung der Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energie-Einspar-Verordnung - EnEV), in der Fassung vom 24.07.2007 (BGBl. I 2007, S. 1519)
- EnEV 2009: Verordnung zur Änderung der Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energie-Einspar-Verordnung - EnEV), verkündet im Bundesgesetzblatt vom 29.04.2009
- EntflechtG 2006: Gesetz zur Entflechtung von Gemeinschaftsaufgaben und Finanzhilfen (Entflechtungsgesetz - EntflechtG), "Entflechtungsgesetz (EntflechtG) vom 5. September 2006 (BGBl. I S. 2098, 2102) zu Art. 13 GG; Geltung ab 01.01.2007 bis 31.12.2019
- EU-Gebäude-RL 2003: Richtlinie 2002/91/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, in der Fassung des Amtsblatts der Europäischen Gemeinschaften (L1/65-70)
- EuP Preparatory Studies Lot 10 2008: "Residential room conditioning conditioning appliances (airco and ventilation). Laufend. (<http://www.ecoaircon.eu>)
- EuP Preparatory Studies Lot 13 2008: "Domestic refrigerators and freezers". Final report. (<http://www.ecocold-domestic.org> )
- EuP Preparatory Studies Lot 14 2008: "Domestic dishwashers and washing machines". Final report. (<http://www.ecowet-domestic.org> )
- EuP Preparatory Studies Lot 19 2008: "Domestic lighting". Laufend. (<http://www.eup4light.net>)
- EuP Preparatory Studies Lot 3 2007: Personal Computers (desktops and laptops) and Computer Monitors, Final Report (Task 1-8), August 2007, (<http://www.ecocomputer.org/>)
- EuP Preparatory Studies Lot 4 2007: "Imaging Equipment"., Final Report, November 2007, (<http://www.ecoimaging.org/>)
- EuP Preparatory Studies Lot 5 2007: "Televisions" (Lot 5), Final Report, August 2007. (<http://www.ecotelevision.org/>)
- EuP Preparatory Studies Lot 6 2007: "Standby and offmode losses", Final Report, Oktober 2007 (<http://www.ecostandby.org/>)
- EuP Preparatory Studies Lot 7 2007: "Battery chargers and external power supplies", Final Report, Januar 2007 (<http://www.ecocharger.org/>)
- EWI/Prognos 2005: Energiereport IV. Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030. Energiewirtschaftliche Referenzprognose. Energiewirtschaftliches Institut an der Universität Köln (EWI), Prognos AG. Basel u. Köln 2005.
- EWI/Prognos 2006: Auswirkungen höherer Ölpreise auf Energieangebot und – nachfrage. Ölpreisvariante der Energiewirtschaftlichen Referenzprognose 2030.

- Energiewirtschaftliches Institut an der Universität Köln (EWI), Prognos AG. Für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Berlin. Köln, Basel, August 2006.
- EIA 2007: International Energy Outlook 2007, Energy Information Administration (EIA). Washington 2007.
- Europe Economics/Fraunhofer ISI 2007: Impact assessment study on a possible extension, tightening or simplification of the framework directive 92/75 EEC on energy labelling of household appliance. London, 19 October 2007 ([http://ec.europa.eu/energy/demand/legislation/domestic\\_en.htm#consultation](http://ec.europa.eu/energy/demand/legislation/domestic_en.htm#consultation))
- EnWG: Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz – EnWG)
- E.V.A, NOVEM, TU Graz 1999: Labelling and its impacts on fuel efficiency and CO<sub>2</sub>-reduction, Energie Verwertungsagentur, Wien.
- Fleiter, T. 2008: Wirtschaftlichkeitsvergleich der langfristigen Stromeinsparpotenziale bei Elektromotorsystemen und Beleuchtungsanlagen in der Industrie, 10. Symposium Energieinnovationen der Universität Graz 13-15.02.2008, Graz.
- Fischedick, M., D. Schüwer, et al. 2006: Anforderungen an Nah- und Fernwärmenetze sowie Strategien für Marktakteure in Hinblick auf die Erreichung der Klimaschutzziele der Bundesregierung bis zum Jahr 2020 Endbericht, Dezember 2006. Wuppertal Institut (WI), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Technische Thermodynamik (DLR), Institut für Energetik und Umwelt, Leipzig (ie Leipzig), Wuppertal, Stuttgart, Leipzig
- Föderalismusreform I 2006: "Gesetz zur Änderung des Grundgesetzes" im Rahmen der "Föderalismusreform I" vom 28.8.2006 (BGBl. I S. 2034), Berlin
- Fraunhofer ISI, Öko-Institut, IEF-STE et al. 2007: Wirtschaftliche Bewertung von Maßnahmen des integrierten Energie- und Klimaprogramms (IEKP). Karlsruhe, Berlin, Jülich. Dezember 2007
- Fraunhofer ISI / GfK Panel Services 2007: Survey on electricity consumption in private households in Germany. Carried out within the EU project "Residential Monitoring to Decrease Energy Use and Carbon Emissions in Europe (REMODECE)". Supported by Intelligent Energy Europe. Karlsruhe, Nürnberg: Januar 2007. [www.isr.uc.pt/~remodece/](http://www.isr.uc.pt/~remodece/).
- Fraunhofer ISI, BSR Sustainability, European Climate Forum, Ökozentrum NRW, Potsdam Institut für Klimafolgenforschung 2008: Investitionen für ein klimafreundliches Deutschland. Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Potsdam
- Fraunhofer ISI, Enerdata, ISIS, WI 2009: Study on the Energy Savings Potentials in EU Member States, Candidate Countries and EEA Countries. On behalf of the European Commission (DG TREN). Final report. 2008 (to be published)

- Fraunhofer IZM, Fraunhofer ISI 2009: Abschätzung des Energiebedarfs der weiteren Entwicklung der Informationsgesellschaft. Abschlussbericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. Berlin, Karlsruhe, 12. März 2009
- GfK 2008: GfK Retail Panel Haushaltsgeräte. Verkaufszahlen nach Energieeffizienzklassen 2005. Nürnberg
- GfK/ZVEI 2006: Zahlenspiegel des deutschen Elektro-Hausgerätemarktes 2005/2006. Nürnberg, Frankfurt. (<http://www.zvei.org>)
- Gillen, D., Morrison, W., Stewart, C. 2004: Air Travel Demand Elasticities: Concepts, Issues and Measurement. Department of Finance Canada. (Online at [http://www.fin.gc.ca/consultresp/Airtravel/airtravStdy\\_e.html](http://www.fin.gc.ca/consultresp/Airtravel/airtravStdy_e.html)).
- Hansen & Kleemann 2005: "Evaluierung der CO<sub>2</sub>-Minderungsmaßnahmen im Gebäudebereich, Schriften des Forschungszentrum Jülich, Reihe Umwelt, Band 60, Forschungszentrum Jülich, Institut für Energieforschung - Systemforschung und Technologische Entwicklung (IEF-STE), Jülich
- HeizAnIV 1998: Verordnung über energiesparende Anforderungen an heizungstechnische Anlagen und Warmwasseranlagen (Heizungsanlagen-Verordnung - HeizAnIV)
- HM Treasury 1999: UK Budget Statement 1999, London, UK.
- IEA 2007: World Energy Outlook 2007. China and India Insights. International Energy Agency (IEA). Paris 2007.
- IEA 2008: CO<sub>2</sub> Capture and Storage. A key carbon abatement option. OECD/IEA, Paris, 2008.
- Irrek, W., Thomas, S. 2006: Der EnergieSparFonds für Deutschland. edition der Hans-Böckler-Stiftung 169. Düsseldorf
- ITP/BVU 2007: Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2025. Studie im Auftrag des BMVBS, FE-Nr. 96.0857/2005, München/Freiburg, 14.11.2007.
- Ifeu/IWU 2005: Beiträge der EnEV und des KfW-CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramms zum Nationalen Klimaschutzprogramm. Heidelberg, Institut für Energie- und Umweltforschung (Ifeu), Institut für Wohnen und Umwelt (IWU), Darmstadt
- Ifeu/TNS-Emnid 2008: Evaluation des Förderprogramms „Energieeinsparberatung vor Ort“, Schlussbericht, Studie im Auftrag des Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi). ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, TNS – Emnid, Heidelberg
- Jäger, C., Jochem, E. et al. 2008: Investitionen für ein klimafreundliches Deutschland. Studie im Auftrag des BMU. ([http://www.bmu.bund.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/studie\\_klimadeutschland.pdf](http://www.bmu.bund.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/studie_klimadeutschland.pdf))
- Jochem, Eberhard, Gruber, Edelgard 2007: Local Learning-networks on energy efficiency in industry – Successful initiative in Germany. In Applied Energy Vol 84 S.806-816.

- KfW 2007: Sonderfonds Energieeffizienz. KMU: Zuschüsse für Energieberatungen.  
[www.kfw.de](http://www.kfw.de)
- KfW 2008a: Vortrag "KfW-Förderung für Energieeffizientes Bauen und Sanieren 2009"  
Zukunft Haus Kongress 2008 (29.10.2008), Markus Schönborn, Abteilungsleiter  
Förderpolitik der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW), Frankfurt
- KfW 2008b: Wohnwirtschaftliche Programme der KfW-Förderbank - Übersicht der Kre-  
dite von 2001 bis 2007. Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) , Frankfurt
- KfW 2008c: Mittelstands und Strukturpolitik, Sonderband "Perspektiven der Wohnwirt-  
schaft". Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW - Bankengruppe) , Frankfurt
- Kleemann M. et al. 2003: Klimaschutz und Beschäftigung durch das KfW-Programm  
zur CO<sub>2</sub>-Minderung und das KfW-CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramm, Evaluie-  
rung der Programme im Auftrag der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW).  
Schriften des Forschungszentrums Jülich. Reihe Umwelt, Band 34. Jülich 2003.
- Kleemann 2007: Untersuchung der Altersstruktur von Öl- und Gaskesseln, Studie im  
Auftrag des Instituts für wirtschaftliche Ölheizung e.V. (IWO), Hamburg
- Kless, S., Veldues, B. 2008: Auszug aus Wirtschaft und Statistik: Ausgewählte Ergeb-  
nisse für kleine und mittlere Unternehmen in Deutschland 2005. Statistisches  
Bundesamt: Wiesbaden
- KfW Förderbank 2008a: Sonderfonds Energieeffizienz in kleinen und mittleren Unter-  
nehmen. Frankfurt am Main ([http://www.kfw-foerderbank.de/DE\\_Home/Beratung/Energieeffizienzberatung/index.jsp](http://www.kfw-foerderbank.de/DE_Home/Beratung/Energieeffizienzberatung/index.jsp) Zugriff:  
10.12.2008)
- KfW Förderbank 2008b: Förderangebote im Bereich Umweltschutz ([http://www.kfw-foerderbank.de/DE\\_Home/Umweltschutz/index.jsp](http://www.kfw-foerderbank.de/DE_Home/Umweltschutz/index.jsp) Zugriff 10.12.2008)
- Koch, Matthias, Harnisch, Jochen, Blok, Kornelis 2003: Systematische Analyse der  
Eigenschaften von Energiemodellen im Hinblick auf ihre Eignung für möglichst  
praktische Politikberatung zur Fortentwicklung der Klimaschutzstrategie.  
Umweltbundesamt: Berlin
- KrW-/AbfG (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz): Gesetz zur Förderung der Kreis-  
laufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen.  
27.9.1994
- KWKG 2002: Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-  
Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz).
- Ledebur, O. von; Elmahdi, K.; Wagner, S. 2007: Market Impact Analysis of Biofuel Pol-  
icy Implementation. Specified targeted research project n°SSPE-CT-2004-  
503604 "Impact of Environmental Agreements on the CAP". Document number:  
MEACAP WP6 D16b.
- Lenkungsgruppe 2008: Stellungnahme und Empfehlungen der Lenkungsgruppe zur  
Evaluierung des Bund-Länder-Programms „Stadtumbau Ost – für lebenswerte  
Städte und attraktives Wohnen“ und zur Fortführung des Programms über das

- Jahr 2009 hinaus, Mitglieder der Lenkungsgruppe zur Begleitung der wissenschaftlichen Evaluierung des Stadtumbauprogramms Ost
- Luger 2007: Effizienzbeiträge des Wärmecontracting aus der Sicht der Contractingwirtschaft. Vortrag beim Workshop des Instituts für Energiewirtschaftsrecht der Friedrich-Schiller-Universität Jena (04. Juli 2007); Referat von Raimund Luger, Techem Energy Contracting GmbH, Jena
- Lutsch 2008: Vortrag "IEKP – alle Ziele erreicht? - Bewertung der beschlossenen Maßnahmen im Wärmebereich" im Forum / 35. Sitzung des Arbeitskreises Zukunftsenergien am 25. Juni 2008 / Berlin, Arbeitsgemeinschaft für Wärme und Heizungswirtschaft e.V.
- McKinsey 2008: Carbon Capture and Storage: Assessing the Economics. McKinsey & Company, 2008.
- ME&P 2000: "SCENES European Transport Forecasting Model and Appended Module: Technical Description", Deliverable D4 of SCENES (Modelling and methodology for analysing the interrelationship between external developments and European transport) project funded by the European Commission 4th RTD framework, Cambridge.
- Meseberg 2007: Bericht zur Umsetzung der in der Kabinettsklausur am 23./24.08.2007 in Meseberg beschlossenen Eckpunkte für ein Integriertes Energie- und Klimaprogramm. Gemeinsamer Bericht des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) und des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin
- Nagel K. und Schreckenberg M. 1992: A cellular automaton model for freeway traffic, In: Journal of Physics I France 2, S.2221–2229.
- Nast, M., O. Langniß, et al. 2005: Förderinstrumente zur Einführung erneuerbarer Energien in den Wärmemarkt - Erneuerbares Wärmegesetz." EuroHeat&Power 12/2005 (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), Institut für Zukunfts-Energiesysteme (IZES)
- Nast, M. und U. Leprich 2002: Das Regenerativ Wärme Gesetz (RegWG) als sektorspezifisches Klimaschutzinstrument - Ergebnis des Workshops vom 22. Oktober 2002 in Frankfurt, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Zukunfts-Energiesysteme (IZES)
- Nast, M., U. Leprich, et al. 2006: Eckpunkte für die Entwicklung und Einführung budgetabhängiger Instrumente zur Marktdurchdringung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt, Endbericht, Ausarbeitung im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Zukunfts-Energiesysteme (IZES), Fraunhofer Institut Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI), Öko-Institut, Berliner Fachhochschule für Wirtschaft (FHW), Stuttgart, Saarbrücken, Karlsruhe, Freiburg, Berlin

- Nitsch, J. 2008 Leitstudie 2008 Weiterentwicklung der Ausbaustrategie Erneuerbare Energien vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas: Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.  
[http://www.dlr.de/tt/Portaldata/41/Resources/dokumente/institut/system/publications/Leitstudie2008\\_Langfassung\\_2008\\_10\\_10.pdf](http://www.dlr.de/tt/Portaldata/41/Resources/dokumente/institut/system/publications/Leitstudie2008_Langfassung_2008_10_10.pdf). downloaded 20.10.2008.
- Öko-Institut, Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu) 2005: Statusbericht zum Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz und mögliche Potentiale. Forschungsbericht 205 33 314, Darmstadt, Heidelberg.
- Öko-Institut, Forschungszentrum Jülich, DIW Berlin, Fraunhofer Institut System- und Innovationsforschung 2007: Politikszenerarien für den Umweltschutz IV. Szenarien für den Klimaschutz für den Projektionsbericht 2007. Berlin, Jülich und Karlsruhe 2007.
- Öko-Institut, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Forschungszentrum Jülich, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (FhG-ISI), Dr. Ziesing 2009: Projektionsbericht 2009 gemäß Entscheidung 280/2004/EG auf Basis des Endberichts des Projekts Politikszenerarien V. Bericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben FKZ 306 16 025 für das Umweltbundesamt (UBA), Berlin.
- Öko-Recherche 2005: Emissionen, Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren von fluorierten Treibhausgasen (F-Gasen) in Deutschland für die Jahre 1995-2002. Forschungsbericht 201 41 261/01, UBA-FB 000811. UBA-Texte 14/05, Berlin.
- Osterburg, B.; Dämmgen, U. (2008): Annahmen für die Prognose der Gasemissionen aus der deutschen Landwirtschaft im Jahr 2010, 2015 und 2020. Bericht an das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMVEL) vom 10.07.2008.
- Osterburg, B.; Nitsch, H.; Laggner, A.; Wagner S. 2007: Analysis of policy instruments for greenhouse gas abatement and compliance with the Convention on Biodiversity. Specified targeted research project n°SSPE-CT-2004-503604 "Impact of Environmental Agreements on the CAP". Document number: MEACAP WP6 D16a.
- Pfeiffer, U., H. Simons, et al. 2000: „Wohnungswirtschaftlicher Strukturwandel in den neuen Ländern“- Bericht der Kommission (im Auftrag des bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen). empirica Wirtschaftsforschung und Beratung GmbH, Berlin
- PKW-EnVKV 2004: Verordnung über Verbraucherinformationen zu Kraftstoffverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen neuer Personenkraftwagen. PKW-Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung).
- Platts-Kraftwerksdatenbank 2007: UDI World Electric Power Plants Data Base, Platts. A division of the McGraw-Hill Companies, Inc. Washington, DC.
- Progtrans 2007: European Transport Report 2007/2008. Basel, September 2007.

- Quint 2009: Elemente einer Lösung. Vorsitzender des Vorstands ESCO Forum im Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI) e.V., Pressekonferenz vom 17. März 2009, Berlin
- Radgen, P.; Blaustein, E. 2001: Compressed air systems in the European Union, Stuttgart: LOG\_X.
- Radgen, P. 2002: Market study for improving energy efficiency for fans, Stuttgart: Fraunhofer IRB Verl.
- Richter, Bolsius, et al. 2008: Überarbeitung der technischen Regeln zur Novelle der Heizkostenverordnung, Ausarbeitung im Auftrag des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBR). TU Dresden, Institut für Technische Gebäudeausrichtung (ITG), Dresden
- Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 6. Juli 2005 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte und zur Änderung der Richtlinie 92/42/EWG des Rates sowie der Richtlinien 96/57/EG und 2000/55/EG des Europäischen Parlaments und des Rates. Amtsblatt der europäischen Union Nr. L 191 vom 22.7.2005, S. 29-58.
- Richtlinie 92/75/EWG des Rates vom 22. September 1992 über die Angabe des Verbrauchs an Energie und anderen Ressourcen durch Haushaltsgeräte mittels einheitlicher Etiketten und Produktinformationen
- Richtlinie 2006/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2006 über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen und zur Aufhebung der Richtlinie 93/76/EWG des Rates
- Schallaböck K., Fishedick M., Brouns B., Luhmann H.J., Merten F., Ott H.E., Pastowski A., Venjakob J. 2006: Klimawirksame Emissionen des PKW-Verkehrs und Bewertung von Minderungsstrategien. Wuppertal-Institut.
- Scholz, R. 2003: Kohlenstoffbedarf und resultierende Kohlendioxid-Emissionen beim Hochofenprozess. Gutachten im Auftrag der ThyssenKrupp Stahl AG. Clausthal-Zellerfeld, 09.09.2003
- Schön, M., Nathani, C., Walz, R. Matthes, F.Chr., Cames, M., Fendler, R. 1997: Politiksznarien für den Klimaschutz. Untersuchungen im Auftrag des Umweltbundesamtes. Band 2: Emissionsminderungsmaßnahmen für Treibhausgase, ausgenommen energiebedingtes CO<sub>2</sub>. Schriften des Forschungszentrums Jülich. Reihe Umwelt/Environment 06.
- Schlomann, B., Gruber E. et al. 2005: Technische und rechtliche Anwendungsmöglichkeiten einer verpflichtenden Kennzeichnung des Leerlaufverbrauchs strombetriebener Haushalts- und Bürogeräte. In Zusammenarbeit mit der Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE) in München und der Technischen Universität Dresden im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit. Karlsruhe, München, Dresden

- Schlomann, B., Gruber, E., Geiger, B., Kleeberger, H., Herzog, T., Konopka, D. 2008: Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) für die Jahre 2004 bis 2006. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik (IfE), GfK Marketing Services GmbH & Co. KG Karlsruhe, München, Nürnberg.
- SEC 2006: Impact Assessment of the inclusion of aviation activities in the scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community, Commission Staff Working Document Sec (2006) 1684. Commission of the European Communities, Brussels.
- StBA 2006: Bevölkerung Deutschlands bis 2050. 11. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. Statistisches Bundesamt (StBA). Wiesbaden 2006.
- StBA 2007a: Entwicklung der Privathaushalte bis 2025. Ergebnisse der Haushaltsvorausberechnung 2007. Statistisches Bundesamt (StBA). Wiesbaden 2007
- StBA 2007b Fachserie 18 Reihe 1.4: Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung. Inlandsproduktsberechnung. Detaillierte Jahresberechnung. Statistisches Bundesamt (StBA). Wiesbaden 2007.
- StBA 2007c: Fachserie 4 Reihe 4.3: Produzierendes Gewerbe. Kostenstruktur der Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steine und Erden. Statistisches Bundesamt (StBA). Wiesbaden 2007.
- StBA 2007d: Entwicklung der Informationsgesellschaft – IKT in Deutschland, Ausgabe 2007, Statistisches Bundesamt (StBA). Wiesbaden, September 2007, online: [http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Navigation/Publikationen/Fachveroeffentlichungen/Informationsgesellschaft.templateId=renderPrint.psml\\_nnn=true](http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Navigation/Publikationen/Fachveroeffentlichungen/Informationsgesellschaft.templateId=renderPrint.psml_nnn=true)
- StBA 2008: Fachserie 19 Reihe 1: Umwelt. Abfallentsorgung. Statistisches Bundesamt (StBA). Wiesbaden 2008.
- StromNEV: Verordnung über die Entgelte für den Zugang zu Elektrizitätsversorgungsnetzen (Stromnetzentgeltverordnung – StromNEV)
- TA Luft 2002: Erste allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 24.Juli 2002.
- TASi (Technische Anleitung Siedlungsabfall): Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen vom 14.Mai 1993.
- TNO 2006: Review and analysis of the reduction potential and costs of technological and other measures to reduce CO<sub>2</sub>-emissions from passenger cars. Studie im Auftrag der Europäischen Kommission. Delft, 31.10.2006.
- TRUCOST 2004: Emission Trading and European Aviation. Trucost Sector Report . London, UK. 23.März 2004.

- UBA 1999: Umweltauswirkungen von Geschwindigkeitsbeschränkungen, Texte 40/99, Umweltbundesamt (UBA), Berlin.
- UBA 2008a: Nationaler Inventarbericht zum deutschen Treibhausgasinventar 1990-2006. Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen. Climate Change 06/08. Umweltbundesamt (UBA). Dessau-Roßlau.
- UBA 2008b: Datenauszug aus dem Zentralen System Emissionen (ZSE) vom 10.11.2008. Umweltbundesamt (UBA). Dessau-Roßlau.
- UKERC 2009: What policies are effective at reducing carbon emissions from surface passenger transport? A review of interventions to encourage behavioural and technological change, Technology and Policy Assessment Function of the UK Energy Research Centre, London.
- VFF 2008: Fensterbranche fordert 7% "Klima-Umsatzsteuer" - Pressemitteilung des Verbands der Fenster- und Fassadenhersteller (VFF) vom 6. Juli 2008, Frankfurt
- VOB, E. 2008: Richtlinie über die Förderung der Beratung zur sparsamen und rationellen Energieverwendung in Wohngebäuden vor Ort - Vor-Ort-Beratung - vom 11. April 2008 (Bundesanzeiger Nr. 66 vom 30.04.2008)
- VV II plus: Verbändevereinbarung über Kriterien zur Bestimmung von Netznutzungsentgelten für elektrische Energie und über Prinzipien der Netznutzung vom 13. Dezember 2001.
- WI et al. 2007: Fishedick, M., Esken, A., Pastowski, A., Schüwer, D., Supersberger, N., Nitsch, J., Viebahn, P., Bandi, A., Zuberbühler, U., Edenhofer, O.: *REECS. Strukturell-ökonomisch-ökologischer Vergleich regenerativer Energietechnologien (RE) mit Carbon Capture and Storage (CCS)*, technical report for the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear safety (BMU), Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH (WI), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW), Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK), Wuppertal, Stuttgart, Stuttgart, Potsdam, 2007.
- WoFG 2006: Gesetz über die soziale Wohnraumförderung, Wohnraumförderungsgesetz (WoFG) vom 13. September 2001 (BGBl. I S. 2376), zuletzt geändert durch Artikel 2 Abs. 13 des Gesetzes vom 5. Dezember 2006 (BGBl. I S. 2748)
- WSchVO 95: Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung 1995- WärmeschutzV, in der Fassung der Bekanntmachung vom 16. August 1994 (BGBl. I 1994 S. 2121)
- ZIV 2000-2007: Erhebungen des Schornsteinfegerhandwerks von 2000 – 2007, Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks, Zentralinnungsverband (ZIV), Sankt Augustin
- ZSW/ISI 2004: Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien (Marktanreizprogramm) im Zeitraum Januar 2002 bis August 2004, For-

schungsvorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Zentrum für Sonnenenergie und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), Fraunhofer Institut Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI), Stuttgart, Karlsruhe

ZSW/TFZ 2006: Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien (Marktanreizprogramm) im Zeitraum Januar 2004 bis Dezember 2005, Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Zentrum für Sonnenenergie und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme, Stuttgart, Straubing

ZSW 2007: Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien (Marktanreizprogramm) im Zeitraum Januar bis Dezember 2006, Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Zentrum für Sonnenenergie und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) , Stuttgart

ZuG 2007: Gesetz über den nationalen Zuteilungsplan für Treibhausgas-Emissionsberechtigungen in der Zuteilungsperiode 2005 bis 2007 (Zuteilungsgesetz 2007 - ZuG 2007).

ZuG 2012: Gesetz über den nationalen Zuteilungsplan für Treibhausgas-Emissionsberechtigungen in der Zuteilungsperiode 2008 bis 2012 (Zuteilungsgesetz 2012 - ZuG 2012).

## **Anhang**

## A1 Instrumententypen

Tabelle A1- 1 *Klassifikation der Instrumententypen*

Instrumententyp		Erläuterung, Beispiele
Ökonomische Instrumente	E	Preis- und mengenpolitische Steuerungsmechanismen Umweltabgaben/-steuern, Handelbare Zertifikate, Handelbare Quoten, Mindestpreise, Tarifpolitik, Marktreform/-öffnung
Fiskalische Instrumente	F	Subventionen und öffentliche Infrastrukturausgaben Zuschüsse, verbilligte Kredite, Steuererleichterungen, Staatliche Investitionen
Verpflichtungserklärungen	V	Freiwillige und verhandelte Selbstverpflichtungen, Vereinbarungen von Wirtschaftsbereichen, Branchen oder Unternehmen
Regulierung	R	Ordnungsrechtliche Vorschriften Ver- und Gebote, technische Standards, Produktkennzeichnung
Information	I	Allgemeine Information und Beratung Broschüren, Informationszentralen, Agenturen, Beratungsstellen
Bildung	ET	Regelung und Förderung der Bildung Aus-, Fort- und Weiterbildung
Forschung und Entwicklung	D	Förderung der Forschung, Entwicklung und Demonstration Grundlagen- und anwendungsorientierte Forschung, Projektförderung
Andere	O	Andere Instrumente Appelle, indikative Zielvorgaben/Planung, Hemmnisabbau

Quelle: UNFCCC Guidelines (FCCC/CP/1999/7, Febr. 2000)

## A2 Zusätzliche Ergebnistabellen

### A2.1 Mit-Maßnahmen-Szenario

Tabelle A2- 1 Endenergiebedarf nach Energieträgern im Mit-Maßnahmen-Szenario, 1990-2030

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	PJ								
Braunkohle	1.026	190	92	75	70	69	63	60	53
Steinkohle	650	521	457	372	347	341	331	323	310
Mineralölprodukte <sup>a</sup>	4.092	4.433	4.177	3.783	3.719	3.705	3.547	3.397	3.195
Gase (fossil)	1.951	2.348	2.495	2.573	2.659	2.587	2.529	2.488	2.420
Müll und sonstige	35	19	35	62	41	42	43	47	51
Biomasse <sup>b</sup> & Biogas	173	161	254	476	603	766	874	926	959
Solarenergie und Umweltwärme	0	0	0	0	21	30	38	47	57
Strom	1.638	1.648	1.780	1.864	1.745	1.747	1.753	1.782	1.804
Fern- und Nahwärme	383	366	265	264	258	253	243	231	215
Summe <sup>e</sup>	9.949	9.685	9.554	9.468	9.463	9.538	9.421	9.301	9.063
Nachr.:									
Mineralölprodukte Internationaler Verkehr	260	272	330	388	436	483	527	571	613
dav. Internationaler Luftverkehr	157	188	239	277	325	372	416	460	502
dav. Hochseeschifffahrt <sup>c</sup>	104	85	91	111	111	111	111	111	111
Anteil erneuerbarer Energien <sup>d</sup>	2%	2%	4%	7%	10%	13%	16%	17%	19%

Anmerkung: <sup>a</sup> einschließlich der für den internationalen Flugverkehr vertankten Mengen <sup>b</sup> einschließlich organischer Anteile des Mülls. <sup>c</sup> ohne Mineralölprodukteinsatz in der Hochseeschifffahrt. <sup>d</sup> in den Summenwerten für die jeweiligen Energieträger nicht enthalten. <sup>e</sup> Grobabschätzung in den Abgrenzungen der Erneuerbare-Energien-Richtlinie der EU

Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI, Forschungszentrum Jülich und Öko-Institut

Tabelle A2- 2 Endenergiebedarf nach Sektoren im Mit-Maßnahmen-Szenario, 1990-2030

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	PJ								
Private Haushalte	2.440	2.650	2.578	2.646	2.389	2.315	2.227	2.125	2.007
GHD <sup>a</sup>	1.710	1.564	1.462	1.441	1.468	1.386	1.303	1.209	1.106
Industrie <sup>b</sup>	3.371	2.813	2.723	2.754	2.852	2.922	2.973	3.076	3.150
Nationaler Verkehr <sup>c</sup>	2.271	2.470	2.552	2.351	2.428	2.544	2.501	2.431	2.298
Internationaler Luftverkehr	157	188	239	277	325	372	416	460	502
Endenergieverbrauch <sup>d</sup>	9.949	9.685	9.554	9.468	9.463	9.538	9.421	9.301	9.063
Nachr.:									
Internationaler Luftverkehr	157	188	239	277	325	372	416	460	502
Hochseeschifffahrt	104	85	91	111	111	111	111	111	111
Verkehr Bauwirtschaft	50	44	43	38	40	41	43	44	45

Anmerkungen: <sup>a</sup> ohne Energiebedarf des Verkehrs der Bauwirtschaft. <sup>b</sup> mit Brennstoffeinsatz für Wärmeerzeugung in den Industriekraftwerken des Verarbeitenden Gewerbes und des Übrigen Bergbaus. <sup>c</sup> mit Verkehr der Bauwirtschaft, ohne Pipelines. <sup>d</sup> näherungsweise nach Abgrenzung der Energiebilanz, d.h. mit internationalem Luftverkehr, aber ohne Hochseeschifffahrt

Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI, Forschungszentrum Jülich und Öko-Institut

Tabelle A2- 3 Primärenergiebedarf nach Energieträgern im Mit-Maßnahmen-Szenario, 1990-2030

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	PJ								
Kernenergie	1.668	1.682	1.851	1.779	1.529	929	757	144	0
Braunkohle	3.201	1.734	1.550	1.596	1.482	1.423	1.070	1.078	1.059
Steinkohle	2.307	2.060	2.021	1.808	1.772	1.936	1.704	1.724	1.569
Öl	5.228	5.689	5.499	5.166	5.197	5.198	5.040	4.879	4.658
Erdgas	2.303	2.812	2.996	3.236	3.432	3.429	3.595	3.798	3.855
Müll und sonstige	80	185	56	136	170	171	174	177	181
Biomasse <sup>a</sup>	59	7	280	585	1.084	1.527	2.011	2.217	2.326
Wasser	58	77	92	70	83	88	89	90	90
Wind	0	6	35	98	170	238	365	400	417
Solar	0	0	4	15	33	56	81	106	131
Geothermie	0	0	5	6	9	38	55	93	94
Stromimporte	3	17	11	-31	0	0	0	0	0
Primärenergie <sup>b</sup>	14.905	14.269	14.401	14.465	14.961	15.033	14.941	14.707	14.381
Nachr.:									
Anteil erneuerbare Energien	0,8%	0,6%	2,9%	5,4%	9,2%	13,0%	17,4%	19,8%	21,3%

Anmerkungen: <sup>a</sup> einschließlich organischer Anteile des Mülls. <sup>b</sup> ohne Brennstoffeinsatz der Hochseeschifffahrt (Hochseebunkerungen).

Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI, Forschungszentrum Jülich und Öko-Institut

**Tabelle A2- 4** *Nettostromerzeugung und –aufkommen nach Energieträgern im Mit-Maßnahmen-Szenario, 1990-2030*

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	TWh								
Importe	1	5	3	-9	0	0	0	0	0
Kernenergie	145	146	161	155	133	81	66	13	0
Braunkohle	157	131	136	141	131	127	95	98	98
Steinkohle	130	135	132	123	108	131	111	115	103
Öl	10	8	5	10	11	11	11	11	11
Erdgas	35	40	48	69	79	78	95	127	143
Gichtgas	0	0	0	0	7	7	7	7	8
Kokereigas	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Müll	15	13	16	15	11	11	11	11	11
Wasser	15	20	24	19	23	24	24	25	25
Wind	0	1	9	27	47	66	101	111	116
Fotovoltaik	0	0	0	1	6	11	17	23	28
Biogas	0	0	0	0	16	22	26	26	26
Biomasse <sup>a</sup>	0	0	1	11	15	18	21	21	21
Geothermie	0	0	0	0	0	1	1	2	2
Pumpspeicher	4	4	4	7	7	7	7	7	7
<b>Nettostromaufkommen</b>	<b>511</b>	<b>504</b>	<b>540</b>	<b>571</b>	<b>594</b>	<b>595</b>	<b>593</b>	<b>597</b>	<b>599</b>
<b>Nettostromerzeugung</b>	<b>510</b>	<b>499</b>	<b>537</b>	<b>579</b>	<b>594</b>	<b>595</b>	<b>593</b>	<b>597</b>	<b>599</b>
<i>Nachr.:</i>									
<i>Anteil erneuerbare Energien<sup>b</sup></i>	<i>3,0%</i>	<i>4,3%</i>	<i>6,5%</i>	<i>10,2%</i>	<i>17,8%</i>	<i>23,8%</i>	<i>32,0%</i>	<i>34,7%</i>	<i>36,2%</i>

Anmerkungen: <sup>a</sup> einschließlich organische Anteile des Mülls. <sup>b</sup> Anteil am Nettostromaufkommen, ohne Stromerzeugung aus Pumpspeicherkraftwerken.

Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI, Forschungszentrum Jülich und Öko-Institut

**Tabelle A2- 5** *Bruttostromerzeugung und –aufkommen nach Energieträgern im Mit-Maßnahmen-Szenario, 1990-2030*

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	TWh								
Importe	1	5	3	-9	0	0	0	0	0
Kernenergie	153	154	170	163	140	85	69	13	0
Braunkohle	171	143	148	154	143	138	104	107	107
Steinkohle	141	147	143	134	118	142	120	125	112
Öl	11	9	6	12	12	12	12	12	12
Erdgas	36	41	49	71	82	81	98	131	148
Gichtgas	0	0	0	0	8	8	8	8	8
Kokereigas	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Müll	19	16	20	20	14	14	14	14	14
Wasser	16	21	25	20	23	24	25	25	25
Wind	0	2	10	27	47	66	101	111	116
Fotovoltaik	0	0	0	1	6	11	17	23	28
Biogas	0	0	0	0	17	23	27	27	28
Biomasse <sup>a</sup>	0	0	2	12	16	20	23	24	23
Geothermie	0	0	0	0	0	1	1	2	2
Pumpspeicher	4	4	5	7	7	7	7	7	7
<b>Bruttostromaufkommen</b>	<b>551</b>	<b>542</b>	<b>580</b>	<b>612</b>	<b>633</b>	<b>633</b>	<b>627</b>	<b>631</b>	<b>632</b>
<b>Bruttostromerzeugung</b>	<b>550</b>	<b>537</b>	<b>577</b>	<b>621</b>	<b>633</b>	<b>633</b>	<b>627</b>	<b>631</b>	<b>632</b>
<i>Nachr.:</i>									
<i>Anteil erneuerbare Energien<sup>b</sup></i>	<i>2,9%</i>	<i>4,1%</i>	<i>6,2%</i>	<i>9,8%</i>	<i>17,2%</i>	<i>23,0%</i>	<i>30,9%</i>	<i>33,6%</i>	<i>35,1%</i>

Anmerkungen: <sup>a</sup> einschließlich organische Anteile des Mülls. <sup>b</sup> Anteil am Bruttostromaufkommen, ohne Stromerzeugung aus Pumpspeicherkraftwerken.

Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI, Forschungszentrum Jülich und Öko-Institut

## A2.2 Strukturwandel-Szenario

Tabelle A2- 6 Endenergiebedarf nach Energieträgern im Strukturwandel-Szenario, 1990-2030

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	PJ								
Braunkohle	1.026	190	92	75	58	55	48	44	38
Steinkohle	650	521	457	372	333	323	307	297	283
Mineralölprodukte <sup>a</sup>	4.092	4.433	4.177	3.783	3.532	3.082	2.647	2.301	1.994
Gase (fossil)	1.951	2.348	2.495	2.573	2.655	2.531	2.346	2.123	1.906
Müll und sonstige	35	19	35	62	50	50	50	51	51
Biomasse <sup>b</sup> & Biogas	173	161	254	476	606	758	851	922	962
Solarenergie und Umweltwärme	0	0	0	0	32	79	124	172	223
Strom	1.638	1.648	1.780	1.864	1.738	1.641	1.556	1.504	1.470
Fern- und Nahwärme	383	366	265	264	255	254	241	234	225
Summe <sup>c</sup>	9.949	9.685	9.554	9.468	9.258	8.772	8.169	7.649	7.153
Nachr.:									
Mineralölprodukte Internationaler Verkehr	260	272	330	388	414	265	283	301	318
dav. Internationaler Luftverkehr	157	188	239	277	303	154	172	190	207
dav. Hochseeschifffahrt <sup>c</sup>	104	85	91	111	111	111	111	111	111
Anteil erneuerbarer Energien <sup>d</sup>	2%	2%	4%	7%	10%	14%	18%	22%	25%

Anmerkung: <sup>a</sup> einschließlich der für den internationalen Flugverkehr vertankten Mengen <sup>b</sup> einschließlich organischer Anteile des Mülls. <sup>c</sup> ohne Mineralölprodukteinsatz in der Hochseeschifffahrt. <sup>d</sup> in den Summenwerten für die jeweiligen Energieträger nicht enthalten. <sup>e</sup> Grobabschätzung in den Abgrenzungen der Erneuerbare-Energien-Richtlinie der EU

Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI, Forschungszentrum Jülich und Öko-Institut

Tabelle A2- 7 Endenergiebedarf nach Sektoren im Strukturwandel-Szenario, 1990-2030

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	PJ								
Private Haushalte	2.440	2.650	2.578	2.646	2.426	2.262	1.986	1.704	1.429
GHD <sup>a</sup>	1.710	1.564	1.462	1.441	1.448	1.268	1.067	872	706
Industrie <sup>b</sup>	3.371	2.813	2.723	2.754	2.788	2.831	2.865	2.943	3.022
Nationaler Verkehr <sup>c</sup>	2.271	2.470	2.552	2.351	2.294	2.256	2.080	1.940	1.789
Internationaler Luftverkehr	157	188	239	277	303	154	172	190	207
Endenergieverbrauch <sup>d</sup>	9.949	9.600	9.463	9.357	9.147	8.661	8.058	7.538	7.042
Nachr.:									
Internationaler Luftverkehr	157	188	239	277	303	154	172	190	207
Hochseeschifffahrt	104	85	91	111	111	111	111	111	111
Verkehr Bauwirtschaft	50	44	43	38	40	41	43	44	45

Anmerkungen: <sup>a</sup> ohne Energiebedarf des Verkehrs der Bauwirtschaft. <sup>b</sup> mit Brennstoffeinsatz für Wärmeerzeugung in den Industriekraftwerken des Verarbeitenden Gewerbes und des Übrigen Bergbaus. <sup>c</sup> mit Verkehr der Bauwirtschaft, ohne Pipelines. <sup>d</sup> näherungsweise nach Abgrenzung der Energiebilanz, d.h. mit internationalem Luftverkehr, aber ohne Hochseeschifffahrt

Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI, Forschungszentrum Jülich und Öko-Institut

Tabelle A2- 8 Primärenergiebedarf nach Energieträgern im Strukturwandel-Szenario, 1990-2030

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	PJ								
Kernenergie	1.668	1.682	1.851	1.779	1.529	929	757	144	0
Braunkohle	3.201	1.734	1.550	1.596	1.449	1.187	695	508	219
Steinkohle	2.307	2.060	2.021	1.808	1.639	1.553	1.173	969	656
Öl	5.228	5.689	5.499	5.166	4.975	4.483	4.005	3.623	3.279
Erdgas	2.303	2.812	2.996	3.236	3.381	3.321	3.244	3.102	2.865
Müll und sonstige	80	185	56	136	180	183	185	187	189
Biomasse <sup>a</sup>	59	7	280	585	1.077	1.520	1.980	2.219	2.385
Wasser	58	77	92	70	83	88	89	90	90
Wind	0	6	35	98	176	263	417	577	728
Solar	0	0	4	15	41	93	146	201	258
Geothermie	0	0	5	6	18	62	163	316	467
Stromimporte	3	17	11	-31	0	0	0	0	0
Primärenergie <sup>b</sup>	14.905	14.269	14.401	14.465	14.548	13.682	12.853	11.938	11.137
Nachr.:									
Anteil erneuerbare Energien	0,8%	0,6%	2,9%	5,4%	9,6%	14,8%	21,7%	28,5%	35,3%

Anmerkungen: <sup>a</sup> einschließlich organischer Anteile des Mülls. <sup>b</sup> ohne Brennstoffeinsatz der Hochseeschifffahrt (Hochseebunkerungen).

Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI, Forschungszentrum Jülich und Öko-Institut

**Tabelle A2- 9**      *Nettostromerzeugung und –aufkommen nach Energieträgern im Strukturwandel-Szenario, 1990-2030*

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	TWh								
Importe	1	5	3	-9	0	0	0	0	0
Kernenergie	145	146	161	155	133	81	66	13	0
Braunkohle	157	131	136	141	129	106	61	44	17
Steinkohle	130	135	132	123	97	94	60	41	12
Öl	10	8	5	10	11	11	11	11	11
Erdgas	35	40	48	69	73	68	67	72	64
Gichtgas	0	0	0	0	7	7	8	8	8
Kokereigas	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Müll	15	13	16	15	11	11	11	11	11
Wasser	15	20	24	19	23	24	24	25	25
Wind	0	1	9	27	49	73	116	160	202
Fotovoltaik	0	0	0	1	6	15	23	33	42
Biogas	0	0	0	0	16	22	26	26	26
Biomasse <sup>a</sup>	0	0	1	11	15	18	21	23	25
Geothermie	0	0	0	0	0	1	3	6	9
Pumpspeicher	4	4	4	7	7	7	7	7	7
<b>Nettostromaufkommen</b>	<b>511</b>	<b>504</b>	<b>540</b>	<b>571</b>	<b>577</b>	<b>538</b>	<b>502</b>	<b>479</b>	<b>459</b>
<b>Nettostromerzeugung</b>	<b>510</b>	<b>499</b>	<b>537</b>	<b>579</b>	<b>577</b>	<b>538</b>	<b>502</b>	<b>479</b>	<b>459</b>
<i>Nachr.:</i>									
<i>Anteil erneuerbare Energien<sup>b</sup></i>	<i>3,0%</i>	<i>4,3%</i>	<i>6,5%</i>	<i>10,2%</i>	<i>18,7%</i>	<i>28,2%</i>	<i>42,2%</i>	<i>56,8%</i>	<i>71,5%</i>
<small>Anmerkungen: <sup>a</sup> einschließlich organische Anteile des Mülls. <sup>b</sup> Anteil am Nettostromaufkommen, ohne Stromerzeugung aus Pumpspeicherkraftwerken.</small>									

Quelle:      Berechnungen Fraunhofer ISI, Forschungszentrum Jülich und Öko-Institut

**Tabelle A2- 10**      *Bruttostromerzeugung und –aufkommen nach Energieträgern im Strukturwandel-Szenario, 1990-2030*

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	TWh								
Importe	1	5	3	-9	0	0	0	0	0
Kernenergie	153	154	170	163	140	85	69	13	0
Braunkohle	171	143	148	154	141	115	66	48	19
Steinkohle	141	147	143	134	105	103	65	45	13
Öl	11	9	6	12	12	12	12	12	12
Erdgas	36	41	49	71	76	71	69	74	66
Gichtgas	0	0	0	0	8	8	8	8	9
Kokereigas	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Müll	19	16	20	20	14	14	14	14	14
Wasser	16	21	25	20	23	24	25	25	25
Wind	0	2	10	27	49	73	116	160	202
Fotovoltaik	0	0	0	1	6	15	23	33	42
Biogas	0	0	0	0	17	23	27	27	28
Biomasse <sup>a</sup>	0	0	2	12	16	20	23	25	28
Geothermie	0	0	0	0	0	1	3	6	10
Pumpspeicher	4	4	5	7	7	7	7	7	7
<b>Bruttostromaufkommen</b>	<b>551</b>	<b>542</b>	<b>580</b>	<b>612</b>	<b>615</b>	<b>571</b>	<b>528</b>	<b>500</b>	<b>475</b>
<b>Bruttostromerzeugung</b>	<b>550</b>	<b>537</b>	<b>577</b>	<b>621</b>	<b>615</b>	<b>571</b>	<b>528</b>	<b>500</b>	<b>475</b>
<i>Nachr.:</i>									
<i>Anteil erneuerbare Energien<sup>b</sup></i>	<i>2,9%</i>	<i>4,1%</i>	<i>6,2%</i>	<i>9,8%</i>	<i>18,1%</i>	<i>27,3%</i>	<i>41,0%</i>	<i>55,5%</i>	<i>70,5%</i>
<small>Anmerkungen: <sup>a</sup> einschließlich organische Anteile des Mülls. <sup>b</sup> Anteil am Bruttostromaufkommen, ohne Stromerzeugung aus Pumpspeicherkraftwerken.</small>									

Quelle:      Berechnungen Fraunhofer ISI, Forschungszentrum Jülich und Öko-Institut

### A3 Sensitivitätsrechnung CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Einlagerung (CCS)

Tabelle A3- 1 und Tabelle A3- 2 stellen die Ergebnisse für die Sensitivitätsrechnung für die Einbeziehung von CCS ab 2020 dar. Die Ergebnisse für den marktgetriebenen Zubau und die verpflichtende Einführung von CCS für Kohle-Kondensationskraftwerke sind identisch und annähernd deckungsgleich mit dem SWS. CCS-Kraftwerke gehen bis 2030 nicht in Lösung.

*Tabelle A3- 1 Nettostromerzeugung im Strukturwandelszenario mit CCS (marktgetriebener Zubau)*

	2005	2015	2020 TWh	2025	2030
Kernenergie	154,6	80,7	65,7	12,5	0,0
Braunkohle	141,6	105,9	60,9	43,9	16,9
davon neue Kondensations-KW	0,0	14,7	10,2	9,0	3,9
davon neue Kondensations-KW (CCS)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Steinkohle	123,1	94,5	59,8	41,4	12,0
davon neue Kondensations-KW	0,0	26,8	20,6	17,6	8,3
davon neue Kondensations-KW (CCS)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
davon neue KWK	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Erdgas	68,4	68,3	67,0	71,9	64,1
davon neue Kondensations-KW	0,0	14,6	16,1	18,4	11,4
davon neue Kondensations-KW (CCS)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
davon neue KWK	0,0	10,6	21,0	34,2	46,3
Erneuerbare	63,4	151,8	211,8	271,7	328,3
Sonstige	30,4	30,3	30,3	30,5	30,7
<b>Summe</b>	<b>581,5</b>	<b>531,5</b>	<b>495,6</b>	<b>471,9</b>	<b>452,1</b>
davon KWK (Bestand und neu, ohne erneuerbare KWK)	67,6	60,6	54,8	57,3	54,6

Quelle: Berechnungen Öko-Institut.

*Tabelle A3-2 Nettostromerzeugung im Strukturwandelszenario mit CCS (verpflichtende Einführung für Kohle-Kondensationskraftwerke, ansonsten marktgetriebener Zubau)*

	2005	2015	2020 TWh	2025	2030
Kernenergie	154,6	80,7	65,7	12,5	0,0
Braunkohle	141,6	105,9	60,9	43,9	16,9
davon neue Kondensations-KW	0,0	14,7	10,2	9,0	3,9
davon neue Kondensations-KW (CCS)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Steinkohle	123,1	94,5	59,8	41,4	12,0
davon neue Kondensations-KW	0,0	26,8	20,6	17,6	8,3
davon neue Kondensations-KW (CCS)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
davon neue KWK	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Erdgas	68,4	68,3	67,0	71,9	64,1
davon neue Kondensations-KW	0,0	14,6	16,1	18,4	11,4
davon neue Kondensations-KW (CCS)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
davon neue KWK	0,0	10,6	21,0	34,2	46,3
Erneuerbare	63,4	151,8	211,8	271,7	328,3
Sonstige	30,4	30,3	30,3	30,5	30,7
<b>Summe</b>	<b>581,5</b>	<b>531,5</b>	<b>495,6</b>	<b>471,9</b>	<b>452,1</b>
davon KWK (Bestand und neu, ohne erneuerbare KWK)	67,6	60,6	54,8	57,3	54,6

Quelle: Berechnungen Öko-Institut.

Dies liegt darin begründet, dass aufgrund der sinkenden Stromnachfrage und dem starken Zubau erneuerbarer Energien kaum Bedarf für neue (Grundlast-) Kraftwerke zwischen 2020 und 2030 besteht.

Um die generelle Wettbewerbsfähigkeit von CCS-Kraftwerken gegenüber Anlagen ohne CCS zu bewerten, werden im Folgenden die sich aus der Investitionsrechnung im Rahmen der Modellierung des SWS ergebenden finanzmathematischen Durchschnittskosten der einzelnen Technologien verglichen (Tabelle A3- 3 und Tabelle A3- 4).

Aus Tabelle A3- 3 wird ersichtlich, dass sich die finanzmathematischen Durchschnittskosten für Steinkohle- und Erdgas-GuD-CCS-Anlagen im Vergleich zu den jeweiligen Varianten ohne CCS erhöhen, während für Braunkohle-CCS-Anlagen geringere finanzmathematische Durchschnittskosten im Vergleich zu einer Anlage ohne CCS entstehen<sup>44</sup>. Damit stellt CCS bei Kraftwerken mit einem hohen Anteil der CO<sub>2</sub>-Kosten an den Gesamtkosten (Braunkohle) eine attraktive Option dar, während bei Steinkohle und Erdgas die zusätzlichen Kosten durch CCS (Wirkungsgradeinbuße, erhöhte Investitionskosten) schwerer wiegen als die eingesparten CO<sub>2</sub>-Kosten.

Eine zusätzliche staatliche Förderung von CCS für die ersten fünf Jahre (relevant für den Jahrgang 2020) würde zu einer Senkung der finanzmathematischen Durchschnittskosten um rund 10 % führen (Vergleich 2020 und 2025).

Steinkohle-Kondensationskraftwerke stellen von den drei betrachteten Technologien die unwirtschaftlichste Option dar. Dabei sind die finanzmathematischen Durchschnittskosten bei der Nutzung von CCS höher als bei einem Betrieb ohne CCS.

In beiden Szenarien (marktgetrieben bzw. CCS-Pflicht für Kohlekraftwerke) stellen die kostenmäßig günstigsten Kraftwerksoptionen Braunkohle-CCS-Kraftwerke sowie Erdgas-GuD-Kondensations-Kraftwerke ohne CCS dar. Bei staatlicher Förderung (Baujahr 2020) liegen Braunkohle-CCS-Kraftwerke (81,5 €/MWh) bei den finanzmathematischen Durchschnittskosten mit Erdgas-GuD-Kraftwerken ohne CCS (80,6 €/MWh) annähernd gleichauf. Ohne Förderung von CCS (2025/2030) haben GuD-Kondensationskraftwerke ohne CCS (82,7 €/MWh, 84,5 €/MWh) jedoch komparative Kostenvorteile gegenüber Braunkohle-CCS-Kraftwerken (90,0 €/MWh, 94,7 €/MWh).

Aus diesen Überlegungen kann geschlossen werden, dass Braunkohle-CCS-Kraftwerke, insbesondere bei staatlicher Förderung, eine aus Kostensicht interessante Kraftwerksoption darstellen können. Für das SWS ist dies vor allem im Szenarienhorizont jenseits von 2030 relevant.

Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass zahlreiche Faktoren die Wirtschaftlichkeit von CCS-Kraftwerken beeinflussen. So können sich höhere CO<sub>2</sub>-Preise, geringer zusätzliche Investitionskosten für CCS-Anlagen sowie eine geringere Wirkungsgradeinbuße positiv auf die Wirtschaftlichkeit von CCS-Anlagen – auch ohne staatliche

---

<sup>44</sup> Ausnahme 2030, in dem Braunkohle-Kraftwerke mit und ohne CCS annähernd gleiche finanzmathematische Durchschnittskosten aufweisen.

Förderung – auswirken. Eine detaillierte Untersuchung dieser Zusammenhänge war jedoch nicht Gegenstand dieser Sensitivitätsrechnung.

**Tabelle A3- 3** *Finanzmathematische Durchschnittskosten von Kondensations-Kraftwerken mit und ohne CCS im Strukturwandelszenario mit CCS (marktgetriebener Zubau)*

Kraftwerk	2020	2025	2030
		- €/MWh -	
Braunkohle-Kondensation	87,9	91,3	93,5
Braunkohle-Kondensation (CCS)	81,5	90,0	94,7
Steinkohle-Kondensation	100,8	104,2	106,4
Steinkohle-Kondensation (CCS)	109,7	120,9	125,1
Erdgas-GuD-Kondensation	80,6	82,7	84,5
Erdgas-GuD-Kondensation (CCS)	89,3	101,5	104,3

Quelle: Berechnungen Öko-Institut.

**Tabelle A3- 4** *Finanzmathematische Durchschnittskosten von Kondensations-Kraftwerken mit und ohne CCS im Strukturwandelszenario mit CCS (verpflichtende Einführung für Kohle-Kondensationskraftwerke, ansonsten marktgetriebener Zubau)*

Kraftwerk	2020	2025	2030
		- €/MWh -	
Braunkohle-Kondensation	-	-	-
Braunkohle-Kondensation (CCS)	81,5	90,0	94,7
Steinkohle-Kondensation	-	-	-
Steinkohle-Kondensation (CCS)	109,7	120,9	125,1
Erdgas-GuD-Kondensation	80,6	82,7	84,5
Erdgas-GuD-Kondensation (CCS)	89,3	101,5	104,3

Quelle: Berechnungen Öko-Institut.

Darüber hinaus würde die Einführung von CCS bei neuen Gichtgaskraftwerken ab 2020 sukzessive zu sinkenden CO<sub>2</sub>-Emissionen führen. So entfallen im Jahr 2030 rund 7% der Stromproduktion in Gichtgaskraftwerken auf neue Kraftwerke mit CCS (Tabelle A3- 5).

Tabelle A3- 5 *Stromerzeugung in Gichtgas-Kraftwerken sowie Anteil neuer Kraftwerke mit CCS*

	2020	2025 - TWh -	2030
Stromerzeugung in Gichtgas-Kraftwerken	7,5	7,7	7,9
davon neue Gichtgas-Kraftwerke mit CCS	0,1	0,3	0,5
CCS-Anteil	2%	4%	7%

Quelle: Berechnungen Öko-Institut.

Insgesamt könnten sich durch die (verpflichtende) Einführung von CCS bei Gichtgas-kraftwerken für das Jahr 2030 eine zusätzliche Minderung von etwa 9,4 Mio. t CO<sub>2</sub> gegenüber dem SWS ergeben. Auch würden damit signifikante Beiträge von CCS erst nach dem Jahr 2030 entstehen.