

CLIMATE CHANGE

04/2013

# Politikszzenarien für den Klimaschutz VI

Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030



UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES  
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,  
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungskennzahl 3709 41 109  
UBA-FB 001730

## **Politiksznarien für den Klimaschutz VI Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030**

von

**Felix Chr. Matthes; Julia Busche; Ulrike Döring; Lukas Emele;  
Sabine Gores; Ralph O. Harthan, Hauke Hermann; Wolfram Jörß;  
Charlotte Loreck; Margarethe Scheffler**

Öko-Institut, Institut für Angewandte Ökologie

**Patrick Hansen**

Forschungszentrum Jülich, Institut für Energie- und Klimaforschung,  
Systemforschung und Technologische Entwicklung (IEK-STE)

**Jochen Diekmann; Manfred Horn**

Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW Berlin)

**Wolfgang Eichhammer; Rainer Eisland; Tobias Fleiter; Wolfgang  
Schade; Barbara Schlomann, Frank Sensfuß; Hans-Joachim Ziesing**

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

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

**UMWELTBUNDESAMT**

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter <http://www.uba.de/uba-info-medien/4412.html> verfügbar.

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

ISSN 1862-4359

Durchführung  
der Studie: Öko-Institut e.V.  
Merzhauser Str. 173  
79100 Freiburg

Abschlussdatum: März 2013

Herausgeber: Umweltbundesamt  
Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau-Roßlau  
Tel.: 0340/2103-0  
Telefax: 0340/2103 2285  
E-Mail: [info@umweltbundesamt.de](mailto:info@umweltbundesamt.de)  
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>  
<http://fuer-mensch-und-umwelt.de/>

Redaktion: Fachgebiet I 2.2 Energiestrategien und -szenarien, Kai Kuhnenn  
Öko-Institut, Sabine Gores  
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit,  
Martin Weiß

Dessau-Roßlau, März 2013

## Kurzbeschreibung

Im Projekt „Politiksznarien für den Klimaschutz VI“ werden die Treibhausgasemissionen für Deutschland auf der Basis von Modellanalysen für im Detail spezifizierte energie- und klimapolitische Instrumente analysiert.

Im **Aktuelle-Politik-Szenario (APS)** werden alle Maßnahmen berücksichtigt, die bis zum 8. Juli 2011 ergriffen worden sind (und nach dem 01.01.2005 erstmalig in Kraft traten oder geändert wurden). Im Vergleich zum Basisjahr 1990 wird bis zum Jahr 2020 eine Emissionsminderung für die vom Kioto-Protokoll erfassten Treibhausgase<sup>1</sup> von 34 % erreicht, bis zum Jahr 2030 belaufen sich die Emissionsminderungen auf über 44 %.

Deutlich über die Hälfte der Emissionsminderung der untersuchten Politiken entfällt dabei auf die Energieumwandlungssektoren, vor allem die Stromerzeugung. Hinsichtlich der instrumentenspezifischen Wirkungen entfällt der größte Teil der Treibhausgaseminderungen auf Instrumente zur Stromeinsparung (u.a. Emissionshandel (EU-ETS))<sup>2</sup>, die Gebäudesanierungsprogramme, die Förderung erneuerbarer Energien in der Strom- und Wärmeerzeugung, die (europäischen) Verbrauchsstandards für Pkw sowie den Einsatz von Biokraftstoffen.

Im Vergleich zum Jahr 2008<sup>3</sup> sinkt der Primärenergieverbrauch bis zum Jahr 2020 um 9 % und bis 2030 um 19 %. Der Beitrag erneuerbarer Energien zum Primärenergieaufkommen verdoppelt sich etwa bis zum Jahr 2020, bis 2030 nimmt der Beitrag um etwa den Faktor 2,5 zu. Insgesamt steigern erneuerbare Energien ihren Anteil am Primärenergieaufkommen von knapp 9 % im Jahr 2008 auf 19,5 % im Jahr 2020 und auf über 27 % im Jahr 2030.

Jenseits der energiebedingten Treibhausgasemissionen entfallen im Aktuelle-Politik-Szenario noch erhebliche Emissionsminderungen auf Maßnahmen bzw. Entwicklungen im Bereich der Industrieprozesse und der Abfallwirtschaft.

Im **Energiewende-Szenario (EWS)** werden auch darüber hinausgehende, zusätzliche Maßnahmen berücksichtigt. Diese zusätzlichen Maßnahmen bewirken bis zum Jahr 2020 eine Emissionsminderung von knapp 42 % (ggü. 1990), bis zum Jahr 2030 wird eine Emissionsminderung von knapp 59 % erreicht. Auch hier entfällt über die Hälfte der erzielten Emissionsminderungen auf die Energieumwandlungssektoren und hier vor allem die Stromerzeugung.

Die größten Emissionsminderungseffekte der untersuchten Politikmaßnahmen entfallen auf die striktere Umsetzung der energetischen Gebäudestandards, die Maßnahmen zum effizienteren Einsatz von Strom im GHD- und im Haushaltssektor, inklusive der Auswirkungen höherer Strompreise als eine Folge des EU-Emissionshandels, ambitioniertere Verbrauchsstandards für Pkw sowie den stärkeren Einsatz von erneuerbaren Energien im Wärme-, Verkehrs- und Stromerzeugungssektor.

Der Primärenergieverbrauch sinkt gegenüber 2008 bis zum Jahr 2020 um etwa 16 % und bis zum Jahr 2030 um etwa 32 %. Der Anteil erneuerbarer Energien wird bis zum Jahr 2020 um den Faktor 2,2 ggü. 2008 und bis zum Jahr 2030 um den Faktor 2,8 ausgeweitet, insgesamt

---

<sup>1</sup> in der Abgrenzung des Kioto-Protokolls, also ohne Berücksichtigung der Emissionen aus dem internationalen Luftverkehr und der Hochseeschifffahrt

<sup>2</sup> Der Emissionshandel bewirkt indirekt eine Verringerung der Stromnachfrage.

<sup>3</sup> Das Jahr 2008 wurde als Basisjahr verwendet obwohl das Treibhausgasinventar für das Jahr 2009 zu Beginn der Berichtserstellung bereits vorlag, da die krisenbedingt niedrigen Energieverbräuche im Jahr 2009 als Bezugsjahr nicht geeignet erschienen.

steigt der Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergieaufkommen bis 2020 auf knapp 23 % und bis 2030 auf knapp 36 %.

Außerhalb der energiebedingten Treibhausgasemissionen erbringen zusätzliche Maßnahmen bei Industrieprozessen noch erhebliche zusätzliche Minderungsbeiträge.

## Abstract

In the “Policy Scenarios for Climate Protection VI” project the greenhouse gas emissions for Germany are assessed based on model analyses for detailed specific energy and climate policy instruments.

In the **Current Policy Scenario (CPS)** all measures which have been implemented by 8 July 2011 (and those which entered into force for the first time or were changed after 1.1.2005) are taken into consideration. Compared to the reference year of 1990, a 34 % reduction of the emissions of greenhouse gases falling under the Kyoto Protocol<sup>4</sup> is achieved by 2020. By 2030 the emissions are reduced by 44 %. Over half of the emission reductions originate from policies that target the energy conversion sectors, most notably from electricity production. In terms of the instrument-specific effects, the largest share of the reduction in greenhouse gas emissions stems from instruments geared to saving electricity (e.g. the emission trading scheme (ETS))<sup>5</sup>, building rehabilitation programs, the promotion of renewable energies in electricity and heat production, (European) efficiency standards for passenger cars and the use of bio fuels.

Primary energy consumption in Germany decreases by 9 % by 2020 and by 19 % by 2030 compared to 2008<sup>6</sup>. The contribution made by renewable energies to the primary energy supply approximately doubles by 2020; by 2030 the contribution increases by approx. a factor of 2.5. Overall the share of renewable energies in the primary energy supply increases from approx. 9 % in 2008 to 19.5 % in 2020 and to more than 27 % in 2030.

Alongside the energy-related greenhouse gas emissions, substantial emission reductions in the Current Policy Scenario are achieved by measures and developments in industrial processes and waste management.

In the **Energy Transformation Scenario (ETS)** additional measures which go beyond the ones described above are taken into account. These additional measures bring about an emission reduction of approx. 42 % by 2020 and of more than 58 % by 2030 (compared to 1990). More than half of the emission reductions achieved stem from the energy conversion sectors and, above all, electricity production.

The largest emission reduction effects of the policy instruments analysed in this report arise from the more robust implementation of energy rehabilitation standards in the buildings sector, the measures geared to more efficient use of electricity in the tertiary and households sectors, including the effect of higher electricity prices as a consequence of the EU Emissions Trading Scheme, more ambitious efficiency standards for passenger cars and the increased use of renewable energies in the heat, transport and electricity production sectors.

Primary energy consumption in Germany decreases in this scenario by approx. 16 % by 2020 and by approx. 32 % by 2030 compared to 2008. The share of renewable energies increases by a factor of 2.2 by 2020 and by a factor of 2.8 by 2030 compared to 2008; overall the share of

---

<sup>4</sup> As delineated by the Kyoto Protocol, i.e. without taking into account the emissions of international air transport and maritime transport.

<sup>5</sup> The EU Emissions Trading Scheme indirectly effectuates electricity demand.

<sup>6</sup> Although the greenhouse gas inventory for 2009 was already available when the writing of the report had begun, 2008 was chosen as the reference year because the economic crisis brought about a lower energy consumption in 2009, which would seem to make it unsuitable for use as a reference year.

renewable energies in the primary energy supply increases to approx. 23 % by 2020 and to approx. 36 % by 2030.

Alongside energy-related greenhouse gas emissions, additional measures in industrial processes also bring about substantial contributions to emission reductions.

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Kästen

Abkürzungen

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Einleitung und methodischer Ansatz.....                                 | 1  |
| 1.1   | Einleitung.....   | 1  |
| 1.2   | Methodischer Ansatz .....   | 2  |
| 2     | Gesamtwirtschaftliche Rahmendaten .....                                 | 6  |
| 2.1   | Bevölkerung und Haushalte .....   | 6  |
| 2.2   | Projektion der Entwicklung der Primärenergiepreise.....                 | 8  |
| 2.2.1 | Preisprojektionen für Rohöl auf dem Weltmarkt.....                      | 8  |
| 2.2.2 | Projektion für die Entwicklung der Wechselkurse.....                    | 10 |
| 2.2.3 | Preisprojektionen für Erdgas, Steinkohle und Braunkohle .....           | 11 |
| 2.2.4 | Zusammenfassung.....  | 14 |
| 2.3   | Preise für Treibhausgas-Emissionsberechtigungen.....                    | 15 |
| 2.4   | Gesamtwirtschaftliche Entwicklung .....                                 | 17 |
| 3     | Projektionen zum Energieverbrauch und -erzeugung.....                   | 21 |
| 3.1   | Übergreifende Maßnahmen .....   | 21 |
| 3.1.1 | Maßnahmen .....   | 21 |
| 3.2   | Private Haushalte - Raumwärme und Warmwasser.....                       | 24 |
| 3.2.1 | Rahmendaten.....  | 24 |
| 3.2.2 | Maßnahmen .....   | 31 |
| 3.2.3 | Methodik.....   | 59 |
| 3.2.4 | Annahmen und Parameter.....   | 60 |
| 3.2.5 | Ergebnisse der Projektionen.....  | 64 |
| 3.3   | Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) - Raumwärme und Warmwasser..... | 72 |
| 3.3.1 | Rahmendaten.....  | 72 |
| 3.3.2 | Ergebnisse der Projektionen.....  | 73 |
| 3.4   | Verkehr.....  | 77 |
| 3.4.1 | Rahmendaten.....  | 77 |
| 3.4.2 | Maßnahmen .....   | 79 |
| 3.4.3 | Methodik.....   | 85 |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 3.4.4  | Annahmen und Parameter.....  | 86  |
| 3.4.5  | Ergebnisse der Projektionen.....   | 91  |
| 3.5    | Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen - Strom sowie Prozesswärme<br>und -dampf ..... | 100 |
| 3.5.1  | Rahmendaten.....   | 100 |
| 3.5.2  | Maßnahmen .....  | 103 |
| 3.5.3  | Methodik.....  | 107 |
| 3.5.4  | Annahmen und Parameter.....  | 112 |
| 3.5.5  | Ergebnisse der Projektionen.....   | 122 |
| 3.6    | Private Haushalte - Strom.....   | 135 |
| 3.6.1  | Rahmendaten.....   | 135 |
| 3.6.2  | Maßnahmen .....  | 135 |
| 3.6.3  | Methodik.....  | 139 |
| 3.6.4  | Annahmen und Parameter.....  | 141 |
| 3.6.5  | Ergebnisse der Projektionen.....   | 146 |
| 3.7    | Erneuerbare Stromerzeugung .....   | 152 |
| 3.7.1  | Maßnahmen .....  | 152 |
| 3.7.2  | Methodik.....  | 153 |
| 3.7.3  | Ergebnisse der Projektionen.....   | 154 |
| 3.8    | Fossile Stromerzeugung und Fernwärme .....   | 156 |
| 3.8.1  | Rahmendaten.....   | 156 |
| 3.8.2  | Maßnahmen .....  | 160 |
| 3.8.3  | Methodik.....  | 163 |
| 3.8.4  | Annahmen und Parameter.....  | 167 |
| 3.8.5  | Ergebnisse der Projektionen.....   | 168 |
| 3.9    | Andere Umwandlungssektoren.....  | 179 |
| 3.9.1  | Rahmendaten und Maßnahmen.....   | 179 |
| 3.9.2  | Methodik, Annahmen und Parameter.....  | 179 |
| 3.9.3  | Ergebnisse der Projektionen.....   | 181 |
| 3.10   | Primär und Endenergiebedarf .....  | 183 |
| 3.10.1 | Primärenergiebedarf .....  | 183 |
| 3.10.2 | Endenergiebedarf .....   | 187 |
| 3.11   | Gesamte energiebedingte Treibhausgasemissionen .....   | 193 |
| 3.11.1 | Emissionen aus Verbrennungsprozessen.....  | 193 |

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 3.1.1.2 | Flüchtige Treibhausgas-Emissionen des Energiesektors .....                   | 194 |
| 4       | Projektionen der nicht-energiebedingten Emissionen.....                      | 198 |
| 4.1     | Industrieprozesse (CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> ,N <sub>2</sub> O)..... | 198 |
| 4.1.1   | Rahmendaten und Maßnahmen.....   | 198 |
| 4.1.2   | Methodik.....  | 199 |
| 4.1.3   | Annahmen und Parameter und Ergebnisse der Projektionen.....                  | 199 |
| 4.2     | Industrieprozesse und Produktverwendung (Fluorierte Treibhausgase) .....     | 204 |
| 4.2.1   | Rahmendaten und Maßnahmen.....   | 204 |
| 4.2.2   | Methodik sowie Annahmen und Parameter .....                                  | 205 |
| 4.2.3   | Ergebnisse der Projektionen.....   | 206 |
| 4.3     | Abfallwirtschaft .....   | 212 |
| 4.3.1   | Rahmendaten und Maßnahmen.....   | 213 |
| 4.3.2   | Methodik.....  | 214 |
| 4.3.3   | Annahmen und Parameter.....  | 215 |
| 4.3.4   | Ergebnisse der Projektionen.....   | 218 |
| 4.4     | Landwirtschaft.....  | 220 |
| 4.4.1   | Rahmendaten und Maßnahmen.....   | 220 |
| 4.4.2   | Methodik.....  | 221 |
| 4.4.3   | Annahmen und Parameter.....  | 221 |
| 4.4.4   | Ergebnisse der Projektionen.....   | 222 |
| 5       | Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen .....                        | 225 |
| 5.1.1   | Entwicklung der Emissionen nach Treibhausgasen .....                         | 225 |
| 5.1.2   | Entwicklung der Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen.....              | 227 |
| 6       | Quellenverzeichnis.....  | 231 |
| 6.1     | Literatur.....   | 231 |
| 6.2     | Deutsche Gesetze und Verordnungen.....                                       | 241 |
| 6.3     | EU-Richtlinien und Verordnungen .....  | 243 |
| 7       | Anhang.....  | 246 |
| 7.1     | Instrumententypen .....  | 246 |
| 7.2     | Endenergieverbräuche in den Endverbrauchssektoren .....                      | 247 |
| 7.3     | Energieeinsätze in den Umwandlungssektoren.....                              | 253 |

**Abbildungsverzeichnis**

Abb. 1-1: Modellübersicht zur Analyse der energiebedingten Treibhausgasemissionen ..... 4

Abb. 2-1: Historischer Verlauf und aktuelle Projektionen für die Entwicklung des Rohölpreises auf dem Weltmarkt, 1980–2050..... 8

Abb. 2-2: Historischer Verlauf und Modellierung von Rohöl-, Erdgas- und Steinkohlenpreisen, 1970–2010..... 11

Abb. 2-3: Historischer Verlauf und aktuelle Projektionen für die Entwicklung des Erdgaspreises auf dem kontinentaleuropäischen Markt, 1980–2050..... 12

Abb. 2-4: Historischer Verlauf und aktuelle Projektionen für die Entwicklung des Steinkohle-Weltmarktpreises für Lieferungen nach Nordwest-Europa, 1980–2050..... 13

Abb. 2-5: Historischer Verlauf und Projektion für die Entwicklung des Weltmarktpreises für Rohöl sowie der europäischen Preise für Erdgas und Steinkohle Markt, 2000–2050 ..... 14

Abb. 2-6: Settlement-Preise für den EUA-Spotmarkt sowie EUA-Futures mit Lieferung im Dezember 2012 und Dezember 2020, 2010 bis 2011 ..... 16

Abb. 3-1: Entwicklungen des maximalern Jahresprimärenergiebedarfs im EWS..... 46

Abb. 3-2: Entwicklung des Fernwärmeverbrauchs im EWS bis 2030 ..... 49

Abb. 3-3: Struktur des FZJ-Gebäudesimulationsmodells ..... 60

Abb. 3-4: CO<sub>2</sub> Emissionen des Straßenverkehrs nach ökonomischen Sektoren für 2007..... 77

Abb. 3-5: Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Maßnahmen des EWS..... 96

Abb. 3-6: Vereinfachte Darstellung des Industriemoduls Forecast-Industry..... 109

Abb. 3-7: Vereinfachte Darstellung des Mengengerüsts für den Sektor GHD im Modell Forecast-Tertiary ..... 111

Abb. 3-8: Strombedarf im Sektor GHD nach Wirtschaftszweig und Energieanwendungen für das Jahr 2008 ..... 121

Abb. 3-9: Resultierende Stromeinsparungen nach Maßnahmen in APS und EWS in Industrie und GHD ..... 128

Abb. 3-10: Resultierende Brennstoff-Einsparungen in APS und EWS in Industrie und GHD .... 129

Abb. 3-11: Resultierende CO<sub>2</sub> Vermeidung durch Maßnahmen in APS und EWS in GHD und Industrie..... 130

Abb. 3-12: Schematischer Aufbau des Haushaltsgeräte-Moduls innerhalb des FORECAST-Modells..... 140

Abb. 3-13: Iteration zwischen Kraftwerksstilllegung und -investition (ELIAS) und Kraftwerkseinsatz (PowerFlex) ..... 166

Abb. 3-14: Entwicklung der Nettostromerzeugung im Aktuelle-Politik-Szenario ..... 169

Abb. 3-15: Entwicklung der Nettostromerzeugung im Energiewende-Szenario..... 173

|  |     |
|--|-----|
| Abb. 3-16: Primärenergiebedarf nach Energieträgern im Aktuelle-Politik-Szenario, 2008-2030.....  | 184 |
| Abb. 3-17: Primärenergiebedarf nach Energieträgern im Energiewende-Szenario, 2008-2030.....  | 185 |
| Abb. 3-18: Unterschiede im Primärenergiebedarf zwischen Energiewende-Szenario und Aktuelle-Politik-Szenario, 2008-2030 .....   | 186 |
| Abb. 3-19: Entwicklung des gesamten Endenergiebedarfs nach Energieträgern im Aktuelle-Politik-Szenario, 2008-2030.....   | 187 |
| Abb. 3-20: Sektorale Aufteilung des gesamten Endenergiebedarfs im Aktuelle-Politik-Szenario, 2008-2030 .....   | 188 |
| Abb. 3-21: Entwicklung des gesamten Endenergiebedarfs nach Energieträgern im Energiewende-Szenario, 2008-2030.....   | 189 |
| Abb. 3-22: Sektorale Aufteilung des gesamten Endenergiebedarfs im Energiewende-Szenario, 2008-2030 .....   | 190 |
| Abb. 3-23: Differenz des Endenergiebedarfs zwischen Energiewende-Szenario und Aktuelle-Politik-Szenario nach Energieträgern, 2008-2030 .....   | 191 |
| Abb. 3-24: Unterschiede im sektoralen Endenergiebedarf zwischen dem Energiewende-Szenario und dem Aktuelle-Politik-Szenario, 2008-2030 .....   | 191 |
| Abb. 4-1: Anteil der Treibhausgasemissionen in den einzelnen Unterquellgruppen an den Gesamttreibhausgasemissionen der Abfallwirtschaft in 1990 (43,1 Mio. t CO <sub>2</sub> eq) und 2009 (11,8 Mio. t CO <sub>2</sub> eq) ..... | 213 |
| Abb. 4-2: Entwicklung der CH <sub>4</sub> -Emissionen aus der Abfalldeponierung in Deutschland (6A, 1990-2030) .....   | 216 |
| Abb. 4-3: Entwicklung der CH <sub>4</sub> - und N <sub>2</sub> O-Emissionen in der Landwirtschaft, 1990-2030.....  | 224 |

**Tabellenverzeichnis**

Tab. 2-1: Bevölkerung und Haushalte 2008 bis 2030 – Referenzentwicklung ..... 7

Tab. 2-2: Ergebnisse der Referenzpreis-Projektionen für Rohöl, Erdgas, Stein- und Braunkohle, 2008–2050 ..... 15

Tab. 2-3: Historische Werte und Projektion des UK DECC für die Preise von Treibhausgas-Emissionsberechtigungen, 2008–2025..... 17

Tab. 2-4: Bruttowertschöpfung nach Sektoren und Bruttoinlandsprodukt (Preisbasis 2000), 2008–2030 ..... 18

Tab. 2-5: Bruttowertschöpfung im Sektor Verarbeitenden Gewerbe (Preisbasis 2000), 2008–2030 ..... 19

Tab. 2-6: Entwicklung der Erwerbstätigkeit, 2008–2030..... 20

Tab. 3-1: Bestandsveränderungen der Wohnfläche bis 2030 ..... 25

Tab. 3-2: Austauschraten von heizölbasierten Heizungssystemen im Szenario APS (alle Angaben in %)...... 27

Tab. 3-3: Austauschraten von erdgasbasierten Heizungssystemen im Szenario APS (alle Angaben in %)...... 28

Tab. 3-4: Austauschraten von heizölbasierten Heizungssystemen im Szenario EWS (alle Angaben in %)...... 29

Tab. 3-5: Austauschraten von erdgasbasierten Heizungssystemen im Szenario EWS (alle Angaben in %)...... 29

Tab. 3-6: Unterstellte mittlere Anlagennutzungsgrade für die erneuerten Heizungssysteme in den Szenarien (alle Angaben in %)..... 30

Tab. 3-7: Mittelwerte der angenommenen Energieträger in Neubauten (alle Angaben in %) ..... 31

Tab. 3-8: Analysierte Instrumente ..... 32

Tab. 3-9: Effekte des KfW-Programms Energieeffizient Sanieren (2001 bis 2010)..... 33

Tab. 3-10: Wirkungen des KfW-Förderprogramms Energieeffizient Sanieren (2009 bis 2030)..... 34

Tab. 3-11: Wirkungen des KfW-Förderprogramms Energieeffizient Bauen (2009 bis 2030)..... 34

Tab. 3-12: CO<sub>2</sub>-Einsparungen 2009 bis 2030 im Förderprogramm Stadtumbau Ost..... 35

Tab. 3-13: CO<sub>2</sub>-Einsparungen 2009 bis 2030 im Förderprogramm Stadtumbau West ..... 36

Tab. 3-14: CO<sub>2</sub>-Einsparungen 2009 bis 2030 im Förderprogramm Aktive Stadt- und Ortsteilzentren ..... 36

Tab. 3-15: CO<sub>2</sub>-Einsparungen 2009 bis 2030 im Programm Soziale Wohnraumförderung..... 37

Tab. 3-16: Investitions- und Fördervolumina für das Marktanzreizprogramm Erneuerbare Energien..... 38

|  |    |
|--|----|
| Tab. 3-17: CO <sub>2</sub> -Einsparungen 2009 bis 2030 durch die Förderung von Biomasseanlagen .....   | 38 |
| Tab. 3-18: CO <sub>2</sub> -Einsparungen 2009 bis 2030 durch die Förderung von Solarthermieanlagen.....  | 39 |
| Tab. 3-19: CO <sub>2</sub> -Einsparungen 2009 bis 2030 durch die Förderung von Wärmepumpen.....  | 39 |
| Tab. 3-20: CO <sub>2</sub> -Einsparungen 2009 bis 2030 durch die Förderung von Wärmenetzen.....  | 40 |
| Tab. 3-21: Netto-CO <sub>2</sub> -Einsparungen 2009 bis 2030 durch die Energieberatung – vor Ort .....   | 41 |
| Tab. 3-22: CO <sub>2</sub> -Mehreinsparungen 2009 bis 2030 durch die EnEV 2009 .....   | 42 |
| Tab. 3-23: CO <sub>2</sub> -Einsparungen 2009 bis 2030 durch das EEWärmeG .....  | 43 |
| Tab. 3-24: CO <sub>2</sub> -Einsparungen 2009 bis 2030 durch die novellierte Fassung der Verordnung über Heizkostenabrechnung .....                | 44 |
| Tab. 3-25: CO <sub>2</sub> -Einsparungen 2009 bis 2030 durch Novellierungen der EnEV 2009 für Neubauten.....                                       | 45 |
| Tab. 3-26: CO <sub>2</sub> -Einsparungen 2009 bis 2030 durch Novellierungen der EnEV 2009 für Altbauten.....                                       | 46 |
| Tab. 3-27: CO <sub>2</sub> -Einsparungen 2009 bis 2030 durch die Stärkung des Vollzugs der EnEV.....   | 47 |
| Tab. 3-28: CO <sub>2</sub> -Einsparungen 2009 bis 2030 durch die Steigerung der Nachrüstverpflichtungen.....                                       | 48 |
| Tab. 3-29: CO <sub>2</sub> -Einsparpotenzial 2009 bis 2030 durch die vermehrte Anordnung eines Fernwärmeanschluss- und Benutzungszwangs.....       | 49 |
| Tab. 3-30: CO <sub>2</sub> -Einsparpotenzial 2009 bis 2030 durch Novellierung des EEWärmeG.....  | 50 |
| Tab. 3-31: CO <sub>2</sub> -Einsparpotenzial durch Vereinfachungen von Sanierungen im Mietwohnungsmarkt.....                                       | 52 |
| Tab. 3-32: CO <sub>2</sub> -Einsparpotenzial 2009 bis 2030 durch die Ökodesignrichtlinie .....   | 53 |
| Tab. 3-33: CO <sub>2</sub> -Einsparpotenzial 2009 bis 2030 durch die Verschärfung der KfW-Programme.....   | 54 |
| Tab. 3-34: CO <sub>2</sub> -Einsparpotenzial durch Beschränkung des Wohneigentumsprogramms der KfW.....  | 54 |
| Tab. 3-35: CO <sub>2</sub> -Einsparpotenzial 2009 bis 2030 durch Bestandersatz als Sanierungsvariante des Programms Energieeffizient sanieren..... | 55 |
| Tab. 3-36: CO <sub>2</sub> -Einsparpotenzial bis 2030 durch Beschränkung des KfW-Programms Energieeffizient Bauen.....                             | 55 |
| Tab. 3-37: CO <sub>2</sub> -Einsparpotenzial bis 2030 durch Einspeisung von Wärme aus EE in Wärmenetze.....  | 56 |
| Tab. 3-38: CO <sub>2</sub> -Einsparpotenzial bis 2030 durch den Ausbau der Städtebauförderung .....  | 56 |
| Tab. 3-39: CO <sub>2</sub> -Einsparpotenzial 2009 bis 2030 durch Wärme-Contracting .....   | 57 |
| Tab. 3-40: CO <sub>2</sub> -Einsparpotenzial bis 2030 durch Stärkung des Marktanreizprogramms.....   | 58 |
| Tab. 3-41: CO <sub>2</sub> -Einsparpotenzial bis 2030 durch Förderprogramm „Energetische Städtebausanierung“ .....                                 | 58 |

|  |    |
|--|----|
| Tab. 3-42: Maßnahmenspezifische CO <sub>2</sub> -Einsparungen im Aktuelle-Politik-Szenario .....   | 65 |
| Tab. 3-43: CO <sub>2</sub> -Einsparungen der Instrumente im EWS.....   | 66 |
| Tab. 3-44: Entwicklung des Endenergiebedarfs in den Szenarien bis 2030.....  | 67 |
| Tab. 3-45: Entwicklung des Endenergiebedarfs nach Energieträgern im APS bis 2030.....  | 67 |
| Tab. 3-46: Entwicklung des Endenergiebedarfs nach Maßnahmen im APS bis 2030 .....  | 68 |
| Tab. 3-47: Entwicklung des Endenergiebedarfs nach Energieträgern im EWS bis 2030 .....   | 69 |
| Tab. 3-48: Entwicklung der im EWS gegenüber dem APS zusätzlich eingesparten<br>Endenergie nach Energieträgern bis 2030.....  | 69 |
| Tab. 3-49: Entwicklung der im EWS gegenüber dem APS zusätzlich eingesparten<br>Endenergie nach Maßnahmen bis 2030 .....  | 70 |
| Tab. 3-50: Emissionsentwicklungen für den Sektor Private Haushalte durch Maßnahmen<br>im Bereich Raumwärme und Warmwasser im Zeitraum im Vergleich der<br>Szenarien, 1990-2030 ..... | 71 |
| Tab. 3-51: Entwicklung des Endenergiebedarfs in den Szenarien bis 2030.....  | 73 |
| Tab. 3-52: Entwicklung des Endenergiebedarfs nach Energieträgern im APS bis 2030.....  | 74 |
| Tab. 3-53: Entwicklung des Endenergiebedarfs nach Energieträgern im EWS bis 2030 .....   | 74 |
| Tab. 3-54: Entwicklung der im EWS gegenüber dem APS zusätzlich eingesparten<br>Endenergie nach Energieträgern bis 2030.....  | 75 |
| Tab. 3-55: Emissionsentwicklungen im GHD-Sektor im Vergleich der Szenarien, 1990-<br>2030.....   | 76 |
| Tab. 3-56: Verkehrsleistung im Personen- und Güterverkehr.....   | 78 |
| Tab. 3-57: Fahrleistung im Personen- und Güterverkehr auf der Straße.....  | 78 |
| Tab. 3-58: Endenergieverbrauch im Verkehr im APS .....   | 79 |
| Tab. 3-59: „Andere Maßnahmen“ zur Schließung der 10-g-CO <sub>2</sub> /km-Lücke .....  | 80 |
| Tab. 3-60: Annahmen und Ergebnisse zur Maßnahme „Strategie Elektromobilität“ –<br>Entwicklung Bestand Elektrofahrzeuge.....  | 87 |
| Tab. 3-61: Annahmen und Ergebnisse zur Maßnahme „Einbeziehung des Luftverkehrs in<br>den Emissionshandel“ .....  | 88 |
| Tab. 3-62: Annahmen und Ergebnisse zur Maßnahme „Einführung der Luftverkehrssteuer<br>im Luftverkehr“ .....  | 89 |
| Tab. 3-63: Annahmen und Ergebnisse zur Maßnahme „ICAO-Effizienzziel 2 % jährlich“.....   | 89 |
| Tab. 3-64: Annahmen bzgl. Preiserhöhungen durch Einbeziehung der MwSt. auf<br>europäische Ticketpreise .....   | 90 |
| Tab. 3-65: Annahmen und Ergebnisse zur Maßnahme „MwSt. im europäischen<br>Luftverkehr“ .....   | 91 |
| Tab. 3-66: Endenergieverbrauch im Verkehr im APS .....   | 92 |
| Tab. 3-67: CO <sub>2</sub> -Emissionen des Verkehrs im APS .....   | 93 |

|  |     |
|--|-----|
| Tab. 3-68: Reduktionswirkung der Maßnahmen zusätzlich zum TREMOD Szenario im APS .....   | 93  |
| Tab. 3-69: Endenergieverbrauch im Verkehr im EWS.....  | 94  |
| Tab. 3-70: CO <sub>2</sub> -Emissionen des Verkehrs im EWS.....  | 95  |
| Tab. 3-71: Reduktionswirkungen der Verkehrs-Maßnahmen des EWS.....   | 97  |
| Tab. 3-72: Energieeinsparung der Luftverkehrs-Maßnahmen des EWS.....   | 98  |
| Tab. 3-73: Emissionseinsparungen im Verkehrssektor im Zeitraum im Vergleich der Szenarien, 1990-2030 .....   | 99  |
| Tab. 3-74: Erzeugungsdaten für ausgewählte energieintensive Produkte/Prozesse, 2000-2030.....  | 101 |
| Tab. 3-75: Erzeugungsdaten für ausgewählte energieintensive Produkte, 2000–2030, Fortsetzung.....  | 102 |
| Tab. 3-76: Energiebezugsfläche je Wirtschaftszweig im Sektor GHD .....   | 103 |
| Tab. 3-77: Eingangsgrößen der Module GHD und Industrie des Modells FORECAST .....  | 108 |
| Tab. 3-78: Zuordnung der energieintensiven Industrieprozesse und –Produkte zum Emissionshandel .....   | 113 |
| Tab. 3-79: Beispielhafte Darstellung der Auswirkungen der THG-Zertifikate auf die Preise von Energieträgern in der Industrie .....                                   | 114 |
| Tab. 3-80: Übersicht der Ökodesign Produktgruppen und der von ihnen adressierte Strom- bzw. Brennstoffbedarf in Industrie, GHD und Haushalten (Stand 20.1.2012)..... | 116 |
| Tab. 3-81: Von der Strom- bzw. Energiesteuer entlastete Produktionsprozesse.....   | 118 |
| Tab. 3-82: Anteile der Querschnittstechniken am Stromverbrauch der Wirtschaftszweige der Industrie im Jahr 2008 [%].....   | 120 |
| Tab. 3-83: Anteile der Energieanwendungen am Stromverbrauch der Wirtschaftszweige des Sektors GHD im Jahr 2008.....  | 121 |
| Tab. 3-84: Strom- und Brennstoffbedarf in den Sektoren Industrie und GHD nach Szenario .....   | 122 |
| Tab. 3-85: Energieintensivität in der Industrie nach Sektoren im APS.....  | 123 |
| Tab. 3-86: Energiebedarf in der Industrie nach Energieträgern im APS.....  | 123 |
| Tab. 3-87: Entwicklung des absoluten Strombedarfs in GHD je Wirtschaftszweig im APS.....   | 124 |
| Tab. 3-88: Entwicklung des absoluten Strombedarfs in GHD je Anwendungsgruppe im APS.....   | 124 |
| Tab. 3-89: Energiebedarf in GHD nach Energieträgern im APS .....   | 125 |
| Tab. 3-90: Energieintensivität in der Industrie nach Sektoren im EWS .....   | 125 |
| Tab. 3-91: Energiebedarf in der Industrie nach Energieträgern im EWS .....   | 126 |
| Tab. 3-92: Entwicklung des absoluten Strombedarfs in GHD je Wirtschaftszweig im EWS.....   | 126 |

|  |     |
|--|-----|
| Tab. 3-93: Entwicklung des absoluten Strombedarfs in GHD je Anwendungsgruppe im EWS .....                                      | 127 |
| Tab. 3-94: Resultierende Wirkung je Maßnahme im APS im Sektor Industrie.....   | 130 |
| Tab. 3-95: Wirkung der Maßnahmen im EWS im Sektor Industrie .....  | 131 |
| Tab. 3-96: Wirkung je Maßnahme im APS im Sektor GHD .....  | 132 |
| Tab. 3-97: Wirkung je Maßnahme im EWS im Sektor GHD.....   | 133 |
| Tab. 3-98: Emissionsentwicklungen für die Sektoren Industrie und GHD im Vergleich der Szenarien, 1990-2030 .....               | 134 |
| Tab. 3-99: Erwartete Entwicklung des Bestands an elektrischen Geräten in privaten Haushalten 2008-2030 .....                   | 143 |
| Tab. 3-100:Erwartete Entwicklung des spezifischen Verbrauchs elektrischer Geräte in privaten Haushalten 2008-2030 im APS ..... | 144 |
| Tab. 3-101:Erwartete Entwicklung des spezifischen Verbrauchs elektrischer Geräte in privaten Haushalten 2008-2030 im EWS.....  | 145 |
| Tab. 3-102:Entwicklung des Stromverbrauchs privater Haushalte 2008–2030 im APS.....  | 146 |
| Tab. 3-103:Wirkung der strombezogenen Maßnahmen im Sektor private Haushalte – APS.....   | 147 |
| Tab. 3-104:Wirkung der strombezogenen Maßnahmen im Sektor private Haushalte nach Gerätekategorien - APS .....                  | 148 |
| Tab. 3-105:Entwicklung des Stromverbrauchs privater Haushalte 2008–2030 im EWS .....   | 149 |
| Tab. 3-106:Wirkung der strombezogenen Maßnahmen im Sektor private Haushalte – EWS ...  | 150 |
| Tab. 3-107:Wirkung strombezogener Maßnahmen im Sektor private Haushalte nach Gebäudekategorien - EWS.....                      | 151 |
| Tab. 3-108:Installierte Leistung erneuerbarer Energien im Aktuelle-Politik-Szenario.....                                       | 154 |
| Tab. 3-109:Installierte Leistung erneuerbarer Energien im Neue-Maßnahmen-Szenario .....  | 154 |
| Tab. 3-110:Zusätzlicher Ausbau Erneuerbarer Energien im Neue-Maßnahmen Szenario .....  | 155 |
| Tab. 3-111:Struktur des Kraftwerksparks im Basisjahr 2008.....   | 156 |
| Tab. 3-112:Technische Lebensdauer der Bestandskraftwerke .....   | 157 |
| Tab. 3-113:Stilllegungsjahre einzelner Kernkraftwerke in Deutschland.....  | 158 |
| Tab. 3-114:Ausgewählte Technik- und Kostendaten neuer Kondensationskraftwerke .....  | 159 |
| Tab. 3-115:Ausgewählte Technik- und Kostendaten neuer KWK-Anlagen.....   | 159 |
| Tab. 3-116:Installierte elektrische Leistung von Kraftwerken, die sich in Planung bzw. Bau befinden.....                       | 160 |
| Tab. 3-117:Entwicklung der Nettostromerzeugung im Aktuelle-Politik-Szenario .....  | 170 |
| Tab. 3-118:Zusammenfassung der Wirkung bisheriger Maßnahmen (Aktuelle-Politik-Szenario) .....                                  | 171 |
| Tab. 3-119:Entwicklung der Nettostromerzeugung im Energiewende-Szenario .....  | 173 |

|  |     |
|--|-----|
| Tab. 3-120:Wirkung der Maßnahmen zur Stromerzeugung im Kraftwerkspark (Differenz EWS-APS).....   | 174 |
| Tab. 3-121:Wirkung der Maßnahmen zur Stromerzeugung in Bezug auf den Brennstoffeinsatz im Kraftwerkspark (Differenz EWS-APS).....  | 175 |
| Tab. 3-122:Zusammenfassung der Wirkungen im Energiewende-Szenario .....  | 176 |
| Tab. 3-123:Entwicklung des Großhandels-Strompreises sowie des anlegbaren Wärmepreises im Vergleich der Szenarien, 2008-2030.....   | 177 |
| Tab. 3-124:Emissionsentwicklungen für den Stromerzeugungssektor im Vergleich der Szenarien, 1990-2030 .....  | 179 |
| Tab. 3-125:Emissionseinsparungen der übrigen Umwandlungssektoren im Vergleich der Szenarien, 1990-2030 .....   | 181 |
| Tab. 3-126:Emissionseinsparungen für die gesamten Verbrennungsprozesse im Vergleich der Szenarien, 1990-2030 .....   | 193 |
| Tab. 3-127:Entwicklung der flüchtigen Treibhausgasemissionen des Energiesektors im Aktuelle-Politik-Szenario, 2000-2030 .....  | 196 |
| Tab. 3-128:Entwicklung der flüchtigen Treibhausgasemissionen des Energiesektors im Energiewende-Szenario, 2000-2030.....   | 197 |
| Tab. 4-1: Entwicklung der prozessbedingten CO <sub>2</sub> -Emissionen für ausgewählte Produktionsprozesse im Aktuelle-Politik-Szenario, 2000-2030.....                  | 200 |
| Tab. 4-2: Entwicklung der CH <sub>4</sub> - und N <sub>2</sub> O-Emissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung im Aktuelle-Politik-Szenario, 2000-2030.....    | 200 |
| Tab. 4-3: Mit CCS abgeschiedene prozessbedingte CO <sub>2</sub> -Mengen. Enthält für die Produktion von Eisen und Stahl auch energiebedingte Emissionen, 2000-2030. .... | 201 |
| Tab. 4-4: Entwicklung der prozessbedingten CO <sub>2</sub> -Emissionen für ausgewählte Produktionsprozesse im Energiewende-Szenario, 2000-2030 .....                     | 202 |
| Tab. 4-5: Entwicklung der CH <sub>4</sub> - und N <sub>2</sub> O-Emissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung im Energiewende-Szenario, 2000-2030 .....       | 203 |
| Tab. 4-6: Entwicklung der Emissionen an fluorierten Treibhausgasen aus Industrieprozessen und Produktverwendung im APS 2000-2030 .....                                   | 207 |
| Tab. 4-7: Entwicklung der Emissionen an fluorierten Treibhausgasen aus Industrieprozessen und Produktverwendung im EWS 2000-2030.....                                    | 208 |
| Tab. 4-8: Emissionsminderungseffekte an fluorierten Treibhausgasen aus Industrieprozessen und Produktverwendung der Maßnahmen im APS .....                               | 209 |
| Tab. 4-9: Zusätzliche Emissionsminderungspotenziale an fluorierten Treibhausgasen aus Industrieprozessen und Produktverwendung im EWS gegenüber den APS.....             | 210 |
| Tab. 4-10: Wirkungen der Maßnahmen im EWS im Sektor Industrieprozesse und Produktverwendung (Fluorierte Treibhausgase) .....   | 211 |
| Tab. 4-11: Entwicklung der CH <sub>4</sub> - und N <sub>2</sub> O-Emissionen aus der Abfallwirtschaft im Aktuelle-Politik-Szenario, 2000-2030 .....                      | 218 |

|  |     |
|--|-----|
| Tab. 4-12: Entwicklung der CH <sub>4</sub> - und N <sub>2</sub> O-Emissionen aus der Abfallwirtschaft im Energiewende-Szenario, 2000-2030..... | 219 |
| Tab. 4-13: Entwicklung der landwirtschaftlichen Aktivitätsdaten, 1990-2030 .....   | 222 |
| Tab. 4-14: Entwicklung der CH <sub>4</sub> -Emissionen in der Landwirtschaft, 1990-2030.....   | 223 |
| Tab. 4-15: Entwicklung der N <sub>2</sub> O-Emissionen in der Landwirtschaft, 1990-2030.....   | 223 |
| Tab. 4-16: Entwicklung der THG-Emissionen in der Landwirtschaft in kt CO <sub>2</sub> Äquivalenten , 1990-2030 .....                           | 223 |
| Tab. 5-1: Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen im Aktuelle-Politik-Szenario nach Gasen, 2000-2030 .....                             | 225 |
| Tab. 5-2: Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen im Energiewende-Szenario nach Gasen, 2000-2030.....                                  | 226 |
| Tab. 5-3: Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen im Aktuelle-Politik-Szenario nach Quellbereichen, 2000-2030 .....                    | 227 |
| Tab. 5-4: Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen im Aktuelle-Politik-Szenario nach Erfassung durch das EU ETS, 2000-2030 .....        | 228 |
| Tab. 5-5: Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen im Energiewende-Szenario nach Quellbereichen, 2000-2030.....                         | 229 |
| Tab. 5-6: Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen im Energiewende-Politik-Szenario nach Erfassung durch das EU ETS, 2000-2030 .....    | 229 |
| Tab. 7-1: Klassifikation der Instrumententypen.....  | 246 |
| Tab. 7-2: Endenergieverbrauch der privaten Haushalte – Aktuelle-Politik-Szenario .....   | 247 |
| Tab. 7-3: Endenergieverbrauch der privaten Haushalte – Energiewende-Szenario.....  | 247 |
| Tab. 7-4: Endenergieverbrauch von Gewerbe Handel, Dienstleistungen (GHD) – Aktuelle-Politik-Szenario.....                                      | 248 |
| Tab. 7-5: Endenergieverbrauch von Gewerbe Handel, Dienstleistungen (GHD) – Energiewende-Szenario.....  | 248 |
| Tab. 7-6: Endenergieverbrauch im Verkehr – Aktuelle-Politik-Szenario.....  | 249 |
| Tab. 7-7: Endenergieverbrauch im Verkehr – Energiewende-Szenario .....   | 249 |
| Tab. 7-8: Endenergieverbrauch im bauwirtschaftlichen Sonderverkehr – Aktuelle-Politik-Szenario .....   | 250 |
| Tab. 7-9: Endenergieverbrauch im bauwirtschaftlichen Sonderverkehr – Energiewende-Szenario .....   | 250 |
| Tab. 7-10: Endenergieverbrauch im Sonderverkehr Pipeline-Transport – Aktuelle-Politik-Szenario .....   | 251 |
| Tab. 7-11: Endenergieverbrauch im Sonderverkehr Pipeline-Transport – Energiewende-Szenario .....   | 251 |
| Tab. 7-12: Endenergieverbrauch der Industrie (ohne Industriekraftwerke) – Aktuelle-Politik-Szenario.....                                       | 252 |

|  |     |
|--|-----|
| Tab. 7-13: Endenergieverbrauch der Industrie (ohne Industriekraftwerke) –<br>Energiewende-Szenario.....        | 252 |
| Tab. 7-14: Energieeinsatz in öffentlichen Kraftwerken – Aktuelle-Politik-Szenario .....                        | 253 |
| Tab. 7-15: Energieeinsatz in öffentlichen Kraftwerken – Energiewende-Szenario.....                             | 253 |
| Tab. 7-16: Energieeinsatz in öffentlichen Heizwerken – Aktuelle-Politik-Szenario .....                         | 254 |
| Tab. 7-17: Energieeinsatz in öffentlichen Heizwerken – Energiewende-Szenario.....                              | 254 |
| Tab. 7-18: Energieeinsatz in Raffineriekraftwerken – Aktuelle-Politik-Szenario.....                            | 255 |
| Tab. 7-19: Energieeinsatz in Raffineriewerken – Energiewende-Szenario .....                                    | 255 |
| Tab. 7-20: Energieeinsatz in Raffineriewärmeerzeugern – Aktuelle-Politik-Szenario .....                        | 256 |
| Tab. 7-21: Energieeinsatz in Raffineriewärmeerzeugern – Energiewende-Szenario.....                             | 256 |
| Tab. 7-22: Energieeinsatz in Kraftwerken im übrigen Umwandlungsbereich – Aktuelle-<br>Politik-Szenario.....    | 257 |
| Tab. 7-23: Energieeinsatz in Kraftwerken im übrigen Umwandlungsbereich –<br>Energiewende-Szenario.....         | 257 |
| Tab. 7-24: Energieeinsatz in Wärmeerzeugern im übrigen Umwandlungsbereich –<br>Aktuelle-Politik-Szenario ..... | 258 |
| Tab. 7-25: Energieeinsatz in Wärmeerzeugern im übrigen Umwandlungsbereich –<br>Energiewende-Szenario.....      | 258 |
| Tab. 7-26: Energieeinsatz in Industriekraftwerken – Aktuelle-Politik-Szenario .....                            | 259 |
| Tab. 7-27: Energieeinsatz in Industriekraftwerken – Energiewende-Szenario.....                                 | 259 |

## Abkürzungen

|          |   |
|----------|---|
| AGEB     | Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen                             |
| ASTRA    | Assessment of Transport Strategies                              |
| APS      | Aktuelle-Politik-Szenario                                       |
| BAFA     | Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle                   |
| BEV      | batterie-elektrisch betriebene Fahrzeuge                        |
| BGB      | Bundesgesetzbuch  |
| BHKW     | Blockheizkraftwerk  |
| BImSchV  | Bundesimmissionsschutzverordnung                                |
| BMWi     | Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie                |
| BMU      | Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit |
| BMVBS    | Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung         |
| BVT      | Besten Verfügbaren Technik                                      |
| CCS      | Carbon capture and storage                                      |
| CDM      | Clean Development Mechanism                                     |
| CPS      | Current Policies Scenario                                       |
| DECC     | Department of Energy and Climate Change                         |
| Dena     | Deutschen Energie-Agentur                                       |
| DWI      | Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung                     |
| Destatis | Statistisches Bundesamt   |
| EEDI     | Energy Efficiency Design Index                                  |
| EEWärmeG | Erneuerbaren-Energien-Wärmegesetz                               |
| EIA      | Energy Information Administration                               |
| ELIAS    | Electricity Investment Analysis                                 |
| EnEV     | Energieeinsparverordnung  |
| EnUSeM   | Energie-Umwandlungs-Sektor-Modell                               |
| EnVKV    | Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung                       |
| EnWG     | Energiewirtschaftsgesetz  |
| ETS      | European Emissions Trading Scheme                               |
| EWI      | Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln     |
| EWS      | Energiewende-Szenario   |
| EU       | Europäische Union   |
| FhG-ISI  | Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung        |

## Politikszenerarien VI

|           |  |
|-----------|--|
| IER       | Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung |
| IEO       | International Energy Outlook                                   |
| IFEU      | Institut für Energie- und Umweltforschung                      |
| IEKP      | integriertes Energie- und Klimaprogramm                        |
| ICAO      | International Civil Aviation Organization                      |
| IKT       | Informations- und Kommunikationstechnik                        |
| JI        | Joint Implementation   |
| GHD       | Gewerbe, Handel und Dienstleistungen                           |
| GWS       | Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturforchung              |
| HFKW      | halogenisierte Fluorkohlenwasserstoffe                         |
| KfW       | Kreditanstalt für Wiederaufbau                                 |
| KOM       | EU-Kommission  |
| KMU       | kleine und mittlere Unternehmen                                |
| KrWG/AbfG | Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes                       |
| KWK       | Kraft-Wärme-Kopplung   |
| LLCC      | Least Life Cycle Cost  |
| LNG       | Liquified Natural Gas  |
| LNf       | leichte Nutzfahrzeuge  |
| MAP       | Marktanreizprogramm  |
| NABEG     | Netzausbaubeschleunigungsgesetz                                |
| MEA       | Mannheim research Institute for the Economics of Aging         |
| MEPC      | Marine Environment Protection Committee                        |
| NEFZ      | Neuer Europäischer Fahrzyklus                                  |
| NIR       | Nationaler Inventarbericht                                     |
| NPS       | New Policy Scenario  |
| NREAP     | National Renewable Energy Action Plan                          |
| PHEV      | Plug-in Hybrid Electric Vehicles                               |
| Prognos   | Prognos AG   |
| RWI       | Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung      |
| SEEMP     | Ship Energy Efficiency Management Plan                         |
| STE       | Programmgruppe Systemtechnik und Technologische Entwicklung    |
| StromNEV  | Stromnetzentgeltverordnung                                     |
| TASi      | TA Siedlungsabfall   |
| THG       | Treibhausgas   |

Politiksznarien VI

|        |  |
|--------|--|
| TREMOD | Transport Emission Model (IFEU)                        |
| WoFG   | Wohnraumf6rderungsgesetz                               |
| ZEW    | Zentrum f6r europ6ische Wirtschaftsforschung           |
| ZSE    | Zentralen System Emissionen                            |
| ZVEI   | Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie |

# 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 „Politikszenerien für den Klimaschutz“ in den Jahren 1996, 1999, 2004, 2007 und 2009 umfangreiche Analysen zur Entwicklung von Szenarien für die deutschen Treibhausgasemissionen vorgelegt (DIW et al 1996, 1999 und 2004, Öko-Institut et al. 2007 und 2009), die unter anderem auf einer Einzelbewertung von konkreten klima- und energiepolitischen Maßnahmen beruhen. Die Ergebnisse dieser Studien haben regelmäßig Eingang in die deutschen Klimaschutzprogramme gefunden, bildeten aber auch eine Grundlage für die von Deutschland im Rahmen der Klimarahmenkonvention zu erstellenden Nationalberichte und die dafür zu erstellenden Treibhausgasprojektionen und Instrumentenbewertungen.

Die Kombination von Szenarien, die die deutschen Treibhausgasemissionen weitgehend vollständig erfassen, und emissionsseitigen Wirkungsschätzungen für eine große Zahl konkreter, aber sehr unterschiedlich ausgerichteter und wirkender Instrumente, bildete ein besonderes Charakteristikum dieser Arbeiten.

Die grundlegende Änderung wichtiger energiewirtschaftlicher Rahmenbedingungen (Energiepreise etc.) sowie die Einführung einer ganzen Reihe von neuen klimapolitischen Instrumenten oder die signifikante Änderung des bestehenden Instrumentariums macht eine regelmäßige Sichtung von Instrumentenwirkungen und deren Verdichtung zu Szenarien für Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen sinnvoll und notwendig.

Vor diesem Hintergrund beauftragte das Umweltbundesamt unter dem Titel „Politikszenerien für den Klimaschutz VI“ im Jahr 2009 das Konsortium der vier Institute mit der Erstellung neuer Treibhausgasprojektionen für Deutschland. Durch die erheblichen Umbrüche in der Energiepolitik in den letzten drei Jahren wurde das Projekt mehrmals ausgesetzt, um die für die Szenarien bestimmenden politischen Richtlinien abzuwarten und diese anschließend zu berücksichtigen. Diese waren vor allem die Entscheidungen zur Verlängerung der Laufzeit der Kernkraftwerke im Jahr 2010 und im folgenden Jahr der Umbruch durch die kurzfristige Abschaltung und Laufzeitverkürzung der noch im Betrieb befindlichen Kernkraftwerke. Jeweils damit verbunden war die Gestaltung von Maßnahmen, die mit diesen Entscheidungen verknüpft wurden. Schließlich wurde nach diesem langjährigen Entscheidungsfindungsprozess zur Ausgestaltung der Maßnahmen die Mitte des Jahres 2011 als Abschneidegrenze gesetzt für die Bestimmung der Maßnahmen des Aktuelle-Politik-Szenarios (zur Definition der Szenarien siehe Abschnitt 1.2), so dass in diesem Szenario die grundsätzliche Ausrichtung zur Vorbereitung einer Energiewende bereits abgebildet ist. Es bleibt jedoch anzumerken, dass weitere wichtige Entscheidungen und Änderungen der Maßnahmen (insbesondere der PV Novelle 2012) und des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes (KWKG) im Sommer 2012) in diesem Szenario damit nicht berücksichtigt sein können.

In der hier vorgelegten Studie werden somit die Szenarien für den Zeitraum 2000 bis 2030 und Wirkungsschätzungen für die im Zeitraum 2005 bis Mitte 2011 ergriffenen energie- und klimapolitischen Instrumente im Aktuelle-Politik-Szenario, sowie für darüber hinaus gehende

Vorgaben im Energiewende-Szenario analysiert und deren Ergebnisse präsentiert. Der Bericht ist wie folgt aufgebaut:

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

Im Kapitel 2 werden die allgemeinen Rahmenannahmen beschrieben, die dem Aktuelle-Politik-Szenario (APS) und dem Energiewende-Szenario (EWS) unterliegen.

In Kapitel 3 werden die Projektionen zum Energieverbrauch und zur Energieerzeugung der im Rahmen dieses Projekts integriert modellierten Sektoren beschrieben, die schließlich in Kapitel 3.10 hinsichtlich des Primär- und Endenergiebedarfs und in Kapitel 3.11 hinsichtlich der energiebedingten Treibhausgasemissionen zusammengefasst werden.

In Kapitel 4 folgt die Projektion der nicht-energiebedingten Treibhausgasemissionen nach einzelnen Sektoren untergliedert (Industrieprozesse, Abfallwirtschaft und Landwirtschaft), wonach schließlich in Kapitel 5 der Verlauf der gesamten Treibhausgasemissionen dargestellt wird.

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.

## 1.2 Methodischer Ansatz

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 **Aktuelle-Politik-Szenario (APS)** werden alle Maßnahmen berücksichtigt, die bis zum 8. Juli 2011 ergriffen worden sind (und nach dem 01.01.2005 erstmalig in Kraft traten oder geändert wurden). 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 APS erfassten Maßnahmen wirksam waren.
- Im **Energiewende-Szenario (EWS)** 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 EWS erfolgt im Vergleich zum Aktuelle-Politik-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.

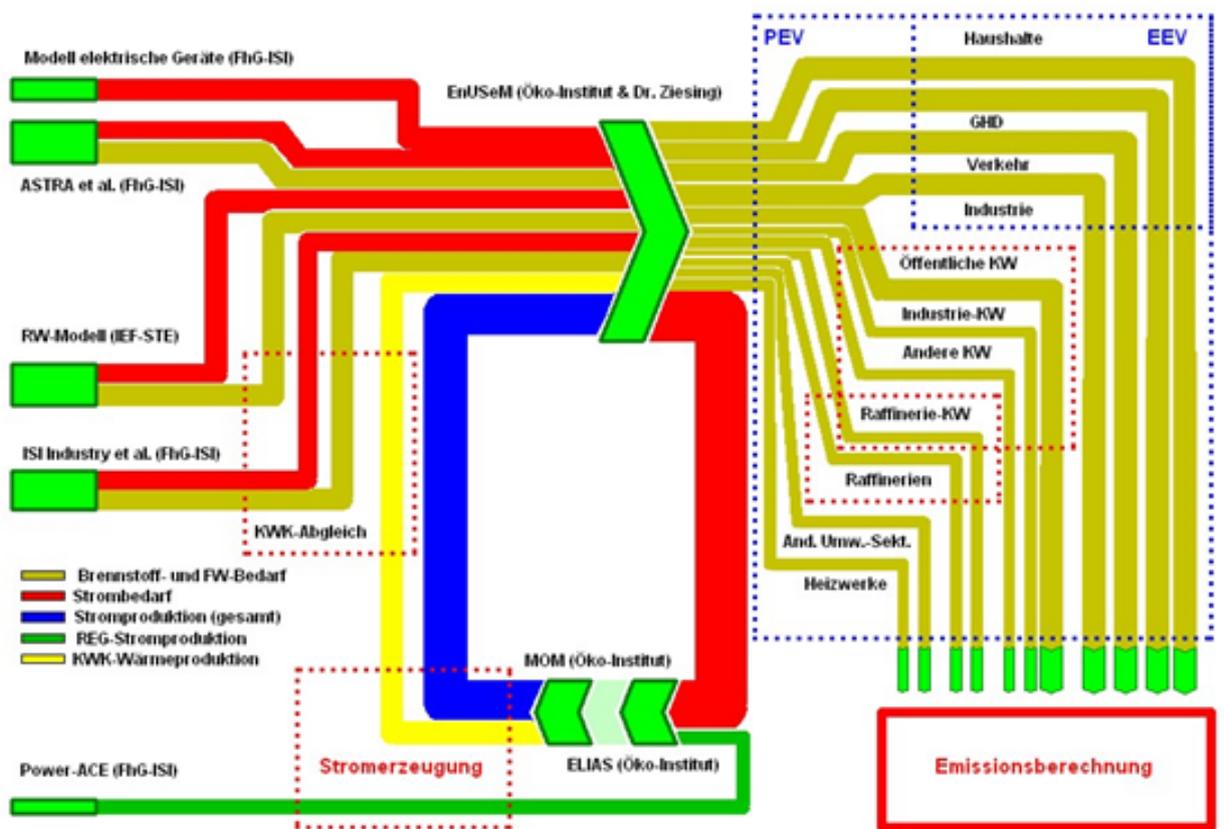
1. Für die energiebedingten Treibhausgasemissionen aus **Verbrennungsprozessen** basieren die Analysen auf einem komplexen System verschiedener Modelle (Abb. 1-1).
  - Für den Gebäudesektor (im Bereich der Wohn- und Nichtwohngebäude) wird das IKA-RUS-Raumwärmemodell der Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung am Institut für Energieforschung des Forschungszentrums Jülich (IEF-STE) genutzt.
  - 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.
  - Die Analysen für den Strom- und Brennstoffbedarf des Verarbeitenden Gewerbes erfolgt mit dem Modell ISI-Industry des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung (FhG-ISI).
  - 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 Stromerzeugung auf Basis fossiler und erneuerbarer Energieträger (einschließlich Kraft-Wärme-Kopplung) wird mit dem ELIAS-Modell sowie dem gekoppelten Merit-Order-Modell (PowerFlex) des Öko-Instituts durchgeführt. Die Projektion der installierten Leistung Erneuerbarer Energien orientiert sich am Nationalen Aktionsplan für erneuerbare Energie (National Renewable Energy Action Plan, NREAP), sowie an der Entwicklung nach der Leitstudie 2010 (DLR, Fraunhofer IWES, IFNE 2010).
  - Die Integration des Mengengerüsts für den Energieverbrauch, die Ermittlung des Primärenergieverbrauchs sowie des Energieeinsatzes in den anderen Umwandlungssektoren erfolgt mit dem **EnergieUmwandlungs-Sektor-Modell** (EnUSEM) vom Öko-Institut und Dr. Ziesing.

Für die energienachfragenden Sektoren werden jeweils die direkten Emissionsminderungen pro Maßnahmen in CO<sub>2</sub>eq. angegeben, die indirekten Emissionswirkungen durch den Stromverbrauch werden gesammelt im Stromsektor ermittelt und dargestellt.

Für die Modellierung des Energiesektors wurde 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.

Abb. 1-1: Modellübersicht zur Analyse der energiebedingten Treibhausgasemissionen



Quelle: Öko-Institut

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

2. Für die **flüchtigen Emissionen des Energiesektors** erfolgt im Emissionsmodell des Öko-Instituts eine quellgruppenspezifische Modellierung auf Basis des Mengengerüsts für die Energienachfrage und -bereitstellung sowie auf Basis der für das Nationale Treibhausgasinventar genutzten Methoden.
3. Für die Emissionen aus **Industrie Prozessen** werden drei verschiedene Ansätze verfolgt:
  - Für die prozessbedingten Emissionen mit Bezug zum Energiesektor werden die Emissionen auf Basis des Mengengerüsts für die Energienachfrage- und -bereitstellung im Emissionsmodell des Öko-Instituts mit den für das Nationale Treibhausgasinventar verwendeten Methoden ermittelt.
  - Für die prozessbedingten Emissionen ohne Bezug zum Energiesektor wurden die Emissionen auf der Basis von Produktionsschätzungen 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 SF6-Emissionen wurden vorliegende Projektionen aktualisiert und angepasst.
4. Für die Treibhausgasemissionen aus der **Landwirtschaft** wurde eine Projektion der agrar-ökonomischen Institute des Johann Heinrich von Thünen-Instituts übernommen (Offermann et al. 2012).
  5. Für die Treibhausgasemissionen aus der **Abfallwirtschaft** wurde das für die Erstellung der Nationalen Treibhausgasinventare verwendete Modell des Öko-Instituts für die Projektion erweitert.

## 2 Gesamtwirtschaftliche Rahmendaten

### 2.1 Bevölkerung und Haushalte

Die Bevölkerung nimmt in Deutschland seit 2003 ab, weil das Geburtendefizit nicht mehr durch Wanderungsgewinne ausgeglichen wird. Von 2000 bis 2003 lag der Wanderungsgewinn mit dem Ausland im Durchschnitt bei netto 200.000 Personen, von 2004 bis 2007 durchschnittlich nur noch bei knapp 60.000 Personen. Danach ist der Wanderungssaldo weiter gesunken. Im Jahr 2008 fiel der Wanderungssaldo gegenüber 2007 um etwa 100.000 Personen auf -56.000. Das Statistische Bundesamt schätzt, dass der Wanderungssaldo auch 2009 negativ war (etwa -20.000 bis -70.000 Personen, Destatis 2010a). Zunehmende Wanderungssalden sind ab 2011 zu erwarten, weil ab diesem Jahr Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer aus den Staaten, die 2004 der EU beigetreten sind, ihren Arbeitsplatz innerhalb der EU frei wählen können. Auch der sich in einigen Bereichen abzeichnende Fachkräftemangel spricht dafür, dass künftig der Wanderungssaldo wieder steigen wird.

Die Annahmen zur Bevölkerungsentwicklung im Projekt „Politiksznarien V“ basierten auf den Ergebnissen der 11. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes (Destatis 2006). Für den Referenzfall wurde dort auf die Variante 1-W2 zurückgegriffen, in der eine Netto-Zuwanderung von jährlich 200.000 Personen pro Jahr unterstellt wird. Daneben wurde die Variante 1-W1 mit einer Zuwanderung von jährlich 100.000 Personen als alternative Entwicklung betrachtet. Das Statistische Bundesamt hat Ende 2009 die 12. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung vorgelegt, die wiederum entsprechende Fälle auf Basis neuerer Ist-Daten zugrunde legt (Destatis 2009). Nach den Ergebnissen dieser Berechnungen sinkt die Bevölkerungszahl bis 2020 auf 79,9 Mio. (V1-W1) bzw. 80,4 Mio. (V1-W2) und bis 2030 auf 77,4 Mio. (V1-W1) bzw. 79,0 Mio. (V1- W2).

Aus gegenwärtiger Sicht erscheint eine Entwicklung mit geringeren Wanderungssalden gemäß Variante 1-W1 wahrscheinlicher. Sie wird deshalb als Referenz zugrunde gelegt.

Tab. 2-1: Bevölkerung und Haushalte 2008 bis 2030 - Referenzentwicklung

|                                   | 2008 | 2020 | 2030 |
|-----------------------------------|------|------|------|
|                                   | Mio. |      |      |
| <b>Bevölkerung im Alter von</b>   |      |      |      |
| unter 20 Jahre                    | 15,6 | 13,6 | 12,9 |
| 20 bis unter 60 Jahre             | 45,4 | 41,7 | 36,0 |
| 60 Jahre und älter                | 21,0 | 24,5 | 28,5 |
| Bevölkerung gesamt                | 82,0 | 79,9 | 77,4 |
| <b>Haushalte mit ... Personen</b> |      |      |      |
| 1                                 | 15,8 | 16,4 | 16,6 |
| 2                                 | 13,6 | 14,7 | 15,2 |
| 3                                 | 5,2  | 4,7  | 4,0  |
| 4                                 | 4,0  | 3,5  | 3,2  |
| 5 und mehr                        | 1,4  | 1,2  | 1,0  |
| Haushalte gesamt                  | 40,1 | 40,4 | 40,1 |
| <i>Personen pro Haushalt</i>      | 2,05 | 1,98 | 1,93 |

Quellen: Destatis 2009 (Variante V1-W1), Mikrozensus 2009, Haushaltsfortschreibung 2007 (Variante Trend), Berechnungen und Schätzungen des DIW Berlin.

In der Referenzentwicklung gemäß der Variante 1-W1 des Statistischen Bundesamtes sinkt die Bevölkerung bis 2020 auf 79,9 Mio. und bis 2030 auf 77,4 Mio. Personen (Tab. 2-1). Dabei erhöht sich der Anteil von Personen im Alter von 60 und mehr Jahren von 25,6 % im Jahr 2008 bis 2030 auf 36,8 %.

Die Zahl und die Größenstruktur der Haushalte wurde in Politiksznarien V mit Hilfe der Haushaltsvorausberechnung 2007 des Statistischen Bundesamtes ermittelt. Diese Berechnungen setzen auf den Ergebnissen der Variante 1-W1 der 11. koordinierten Bevölkerungsprognose auf (Destatis 2006). Sie sind allerdings bis zum Zeitpunkt der Festlegung der Rahmendaten bei der Ressortabstimmung vom Statistischen Bundesamt nicht an die aktuellen Bevölkerungsprognosen angepasst worden.

Die Angaben zu Haushalten in Tab. 2-1 beruhen für 2008 auf dem Mikrozensus. Für 2030 werden die Entwicklungen gemäß der Trendvariante der Haushaltsfortschreibung 2007, die nur bis 2025 reicht, fortgeschrieben. Außerdem wird das Niveau der Haushaltszahlen an die leicht geänderte Bevölkerungsentwicklung gemäß der 12. koordinierten Bevölkerungsvorausschätzung (Destatis 2009) angepasst. Die durchschnittliche Anzahl der Personen pro Haushalt vermindert sich von 2,05 im Jahr 2008 auf 1,98 im Jahr 2020 und 1,93 im Jahr 2030. Im Ergebnis nimmt die Zahl der Haushalte bis 2020 leicht zu, sie sinkt danach bis 2030 aber wieder auf das Niveau von 2008.

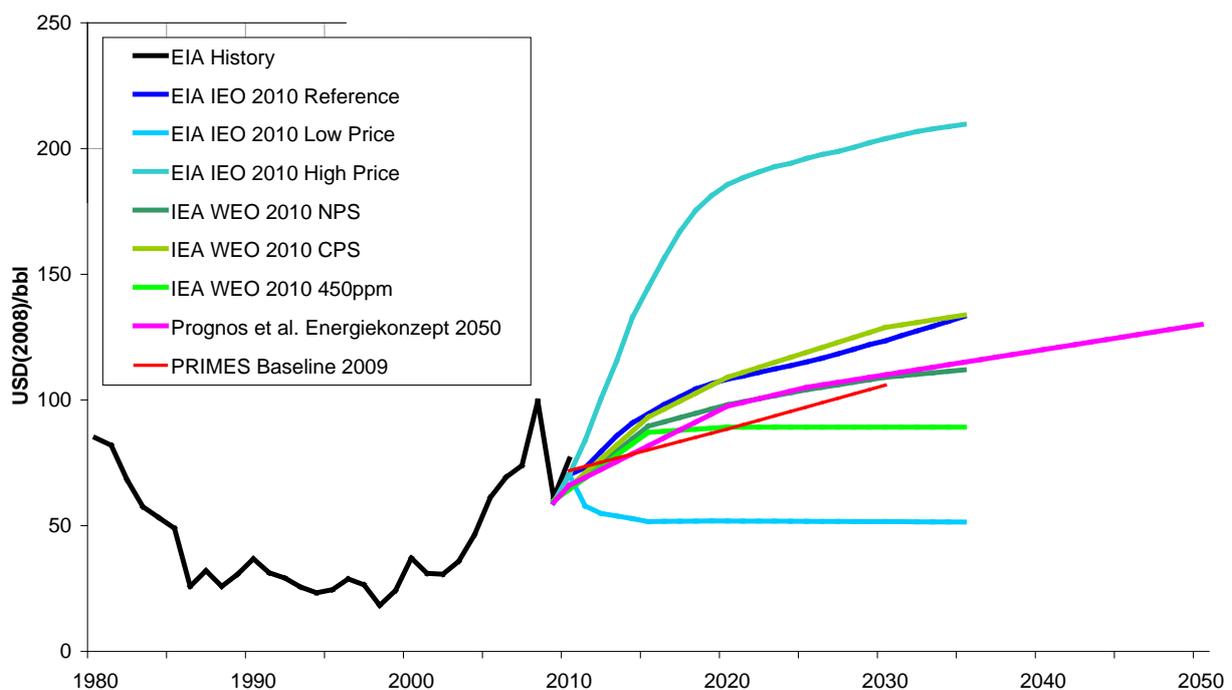
## 2.2 Projektion der Entwicklung der Primärenergiepreise

### 2.2.1 Preisprojektionen für Rohöl auf dem Weltmarkt

Für die Entwicklung der international gehandelten Primärenergieträger bildet der Trend auf den Rohölmärkten einen entscheidenden Anker.

Die langfristige Entwicklung der Ölpreise hängt von vielen Faktoren ab: neben den verfügbaren Ressourcen und der Marktmacht der OPEC insbesondere von dem künftigen weltwirtschaftlichen Wachstum sowie den weltweit verfolgten energie- und umweltpolitischen Strategien. Die künftige Entwicklung dieser Faktoren ist unsicher. Die Unsicherheit über die Entwicklung der Ölpreise wird noch dadurch verstärkt, dass die Preise für Rohöl zunehmend auch durch Finanzmärkte bestimmt werden. Unter dem Einfluss unsicherer Erwartungen über künftige Entwicklungen hat die Volatilität der Preise in den letzten Jahren deutlich zugenommen.

Abb. 2-1: Historischer Verlauf und aktuelle Projektionen für die Entwicklung des Rohölpreises auf dem Weltmarkt, 1980-2050



Quellen: EIA (2010a+b), IEA (2010), Prognos, EWI, GWS (2010), EC (2010), Berechnungen des Öko-Instituts.

Die Zusammenstellung ausgewählter Preisprojektionen in Abb. 2-1 zeigt die große Bandbreite der in aktuellen Analysen unterstellten Ölpreisprojektionen. Alle Preisangaben wurden auf die Preisbasis 2008 umgerechnet, sofern sie nicht bereits in konstanten Preisen von 2008 angegeben waren. Für die Preisbereinigung wurden die BIP-Deflatoren verwendet, die vom Statistischen Bundesamt (Destatis 2011c) für den Euro und vom U.S. Bureau of Economic Analysis (BEA 2011) für den US-Dollar veröffentlicht werden.

Im Vergleich der verschiedenen Projektionen ist auf eine Reihe interessanter Aspekte hinzuweisen:

- In den eher prognostisch orientierten Projektionen in der Referenzvariante des International Energy Outlook (IEO) der Energy Information Administration (EIA 2010b) sowie im Current Policy Scenario (CPS) des World Energy Outlook 2010 der International Energy Agency (IEA 2010) werden für das Jahr 2020 Preisniveaus (in konstanten Preisen von 2008) von knapp 110 US-Dollar je Fass Öl (\$/bbl) erwartet. Bis 2030 wird sich nach diesen Projektionen der Preisanstieg fortsetzen und etwa im Jahr 2035 das Niveau von 130 \$/bbl erreichen.
- Das ebenfalls prognostisch angelegte Primes-Baseline-Szenario 2009 der Europäischen Kommission (EC 2010) unterstellt dagegen bis 2020 Ölpreise von knapp 90 \$/bbl, die dann bis 2030 Werte von über 100 \$/bbl erreichen. Im Gutachten für das Energiekonzept der Bundesregierung (Prognos, EWI, GWS 2010) wird ein Anstieg der Ölpreise auf knapp 100 \$/bbl in 2020 zu Grunde gelegt, bis 2030 ergeben sich hier – bei tendenziell abnehmenden Steigerungsraten – Preisniveaus von 110 \$/bbl in 2030, 120 \$/bbl in 2040 und 130 \$/bbl in 2050.
- Die (in der Grafik nicht dargestellten) aktuellen Erwartungen der OPEC (2010) ergeben dagegen deutlich niedrigere Werte; hier werden für 2020 nominale Preise von 75 bis 85 \$/bbl und für 2030 etwa 106 \$/bbl zu Grunde gelegt; dies entspricht zu Preisen von 2008 etwa einem Preisniveau von 60 bis 70 \$/bbl für 2020 und etwa 75 \$/bbl für 2030. Vor dem Hintergrund der aktuellen Preisentwicklungen auf den internationalen Rohölmärkten wird diese Projektion mit Blick auf die weiteren Analysen zur Referenzentwicklung nicht mit einbezogen.
- Ein ähnlich niedriges Preisniveau wird in der für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) erstellten Referenzprognose 2009 (IER, RWI, ZEW2010) zu Grunde gelegt (ebenfalls in der Grafik nicht dargestellt). Hier liegen die erwarteten Ölpreise (umgerechnet auf Preise von 2008) bei 70 \$/bbl in 2020 sowie bei 76 \$/bbl in 2030. Wie die vorgenannte OPEC-Projektion wird diese Projektion mit Blick auf die aktuellen Preisniveaus für die Diskussion der Referenzentwicklung nicht weiter berücksichtigt.
- In der Projektion der EIA (2010b) werden neben der Referenzvariante auch noch Szenarien für hohe und niedrige Rohölpreise untersucht. Der obere Rand des Preisspektrums (ca. 185 \$/bbl in 2020 bzw. deutlich über 200 \$/bbl nach 2030) wird mit einer steigenden Marktmacht der OPEC begründet, die sich einstellen würde, wenn die unkonventionelle Ölgewinnung außerhalb der OPEC nicht schnell genug gesteigert wird, um bei deutlich steigendem Bedarf eine sinkende konventionelle Ölgewinnung ausgleichen zu können. Durch Maßnahmen wie eine verbesserte Ausbeute konventioneller Ressourcen, eine verstärkte Nutzung alternativer Kraftstoffe und zusätzliche Klimaschutzmaßnahmen könnte der Anstieg des Rohölpreises jedoch auch deutlich gedämpft werden. Bei (sehr) geringem Wirtschaftswachstum und (sehr) hohen Investitionen im Ölsektor werden am unteren Rand sehr niedrige Preisniveaus (für den Zeithorizont 2020/2030 etwa 50 \$/bbl) angesetzt.
- Eine interessante (und hinsichtlich der Quantifizierung) neuartige Sensitivitätsanalyse wird im World Energy Outlook (IEA 2010) präsentiert. Hier werden der Einfluss von Klimaschutzpolitik und die damit einhergehenden Nachfrageeffekte berücksichtigt. Im New

Policy Scenario (NPS), das die Umsetzung der auf der 15. Vertragsstaatenkonferenz zur Klimarahmenkonferenz initiierten Minderungszusagen (Copenhagen Accord) bercksichtigt, stellt sich 2020 ein 6lpreisniveau von knapp 100 \$/bbl ein. Im Vergleich zum Referenzszenario CPS (s. o.) entspricht dies einem um etwa 10 \$/bbl niedrigeren Wert. Im Jahr 2035 wird in diesem Szenario ein Preis von etwas 6ber 110 \$/bbl erreicht, dies sind ca. 20 \$/bbl weniger als im Referenzszenario. In einem Szenario, dass sich an der Einhaltung des sog. 2°C-Ziels und einer Begrenzung der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphre auf 450 ppm (450 Scenario) orientiert, bleiben die Roh6lpreise auch l6ngerfristig auf einem Niveau von etwa 90 \$/bbl.

Vor dem Hintergrund der vorliegenden Analysen aus dem internationalen Raum wird f6r die Modellierungen im Projekt „Politiksznarien VI“ der Preispfad des Referenzszenarios des International Energy Outlook (EIA 2010b) zu Grunde gelegt, der nahezu deckungsgleich mit der Referenzvariante des World Energy Outlook ist (IEA 2010). F6r den Zeitraum ab 2035 wird die Dynamik der Vorjahre fortgeschrieben. Damit ergeben sich f6r den f6r Deutschland relevanten Korb von Roh6lsorten die folgenden Preisannahmen mit Preisbasis 2008 (zum Vergleich: 2008 betrug das Preisniveau etwa 100 \$/bbl):

- 96 \$/bbl f6r 2015
- 111 \$/bbl f6r 2020
- 126 \$/bbl f6r 2030
- 146 \$/bbl f6r 2040
- 166 \$/bbl f6r 2050.

Dieser Preispfad wird f6r die Ableitung der Prim6renergiepreise f6r Erdgas und Steinkohle bzw. der jeweiligen Sekund6renergietr6ger zu Grunde gelegt.

### 2.2.2 Projektion f6r die Entwicklung der Wechselkurse

Neben der Entwicklung des Roh6lpreises auf Dollarbasis spielt die zuk6nftige Entwicklung des Wechselkurses eine entscheidende Rolle f6r die Entwicklung der in Deutschland wirkenden Preissignale aus den Energiem6rkten. Als Referenz f6r die Entwicklung der Wechselkurse zwischen Euro und US-Dollar kann v.a. auf zwei j6ngere prognostische Arbeiten zur6ckgegriffen werden:

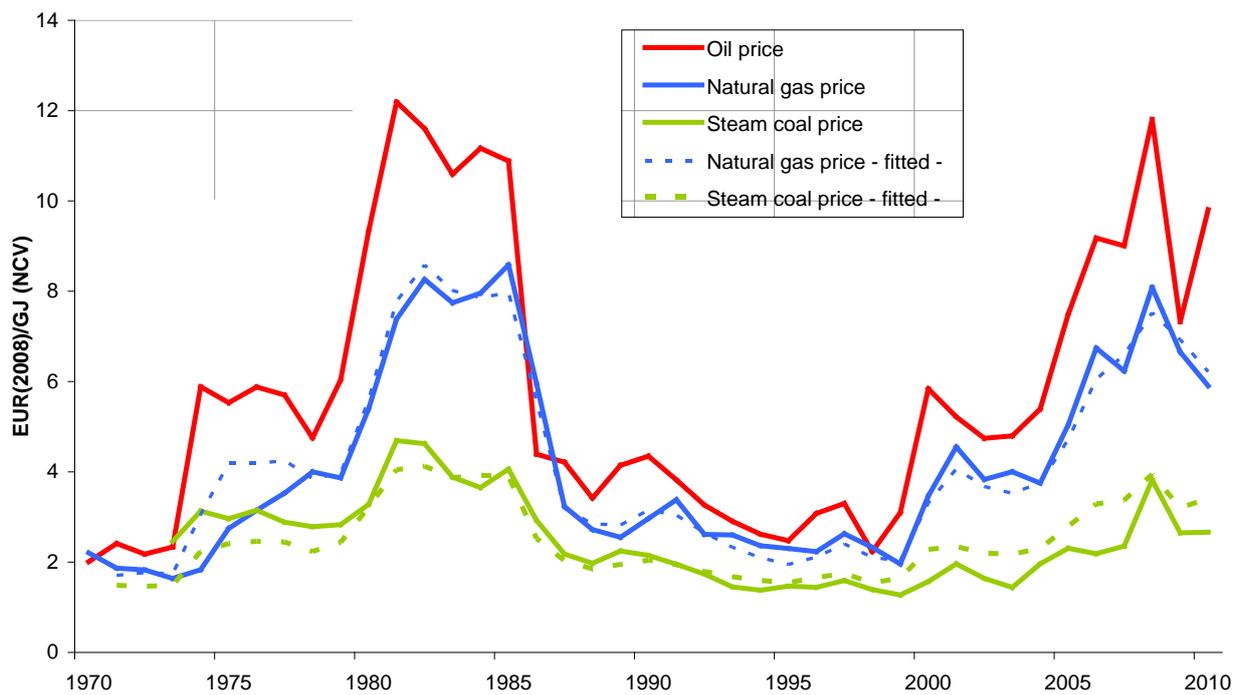
- Aus dem Gutachten zum Energiekonzept (Prognos, EWI, GWS 2010) l6sst sich f6r das Jahr 2020 ein Wechselkurs von 1,25 Dollar je Euro r6ckrechnen. Diese Wechselkursannahme geht von einem weiter fallenden Trend aus, im Jahr 2030 betr6gt der Wechselkurs noch 1,16 \$/€ und im Jahr 2040 1,07 \$/€.
- In der Primes-Baseline-Projektion der Europ6ischen Kommission (EC 2010) verl6uft die Wechselkursentwicklung bis 2030 sehr 6hnlich, f6r 2020 wird ein Wert von etwa 1,22 \$/€ erwartet, f6r 2030 werden 1,16 \$/€ unterstellt.

Im Lichte der aktuellen Entwicklungen sowie mit Blick auf die Entwicklung der Kaufkraftparit6ten zwischen US-Dollar und Euro wird f6r die Modellierung im Projekt „Politiksznarien VI“ f6r 2020 ein Wechselkurs von 1,22 \$/€ und f6r 2030 von 1,16 \$/€ unterstellt.

### 2.2.3 Preisprojektionen für Erdgas, Steinkohle und Braunkohle

Historisch sind die Weltmarktpreise für Steinkohle sowie die Preise auf dem kontinentaleuropäischen Erdgasmarkt, wenn auch mit unterschiedlichen Dynamiken, sehr stark dem Rohölpreis gefolgt. Abb. 2-2 verdeutlicht diesen Zusammenhang für ein Erklärungsmodell, mit dem die Grenzübergangspreise für Erdgas- und Steinkohle über die Rohölpreise modelliert werden (Öko-Institut 2010). Von sehr wenigen Ausnahmen abgesehen, können damit die Erdgas- und Steinkohlenpreise über den Rohölpreis robust erklärt werden.

Abb. 2-2: Historischer Verlauf und Modellierung von Rohöl-, Erdgas- und Steinkohlenpreisen, 1970–2010

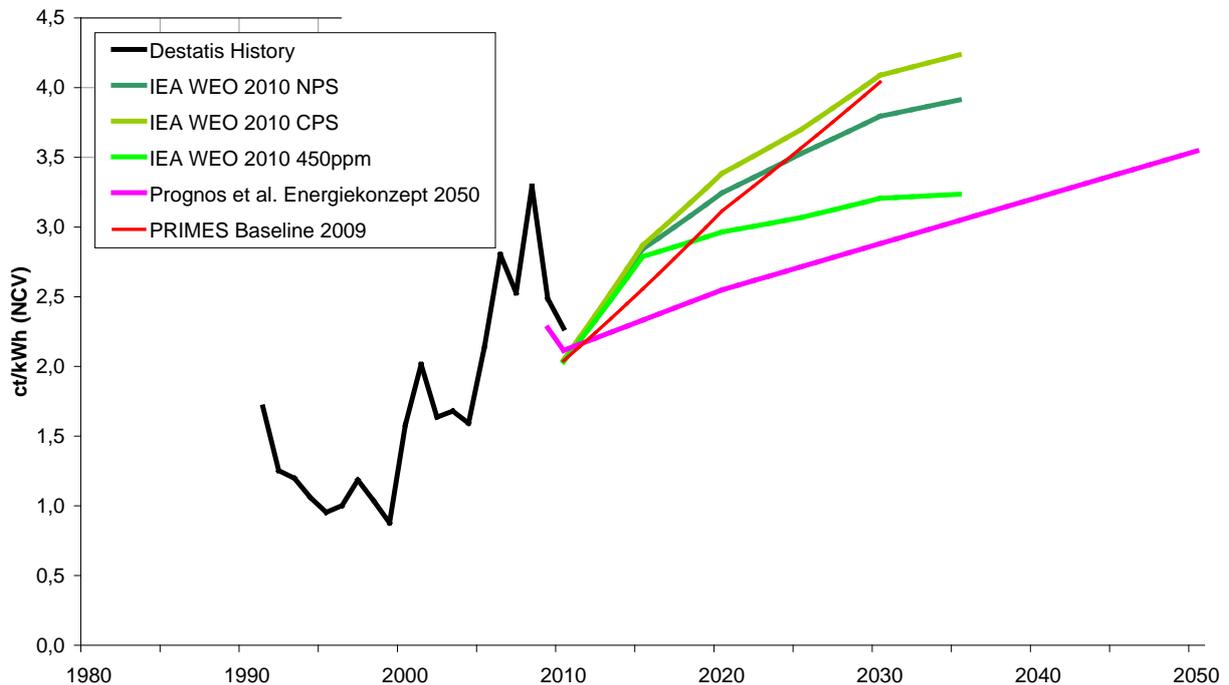


Quellen: Öko-Institut (2010).

Die Frage, ob man diese Preisbildungsmechanismen (für Europa) fortschreiben kann, ist jedoch in jüngster Zeit Gegenstand intensiver Diskussionen gewesen. Ein zentrales Argument dabei ist die massive Zunahme der Gewinnung von unkonventionellem Erdgas, vor allem in den USA und als Folge davon ein niedriger Importbedarf von verflüssigtem Erdgas (Liquified Natural Gas – LNG). Vor dem Hintergrund der in den letzten Jahren massiv ausgebauten Förder- und Transportinfrastrukturen für LNG würden dadurch erhebliche LNG-Mengen vom ursprünglich vorgesehenen Zielmarkt USA auf die Märkte in Europa und Asien umgelenkt, dort zu einem Überangebot führen („Gasschwemme“) und entsprechend die Preisniveaus drücken. Obwohl die Verfügbarkeit größerer Erdgasmengen für den europäischen Markt mittelfristig durchaus eine hohe Wahrscheinlichkeit hat, bleibt die Frage, in welchem Umfang sich geänderte Preisbildungsmechanismen durchsetzen (lassen).

Die Bandbreite der aktuellen Projektionen für Erdgas-Grenzübergangspreise für Europa zeigt Abb. 2-3.

Abb. 2-3: Historischer Verlauf und aktuelle Projektionen für die Entwicklung des Erdgaspreises auf dem kontinentaleuropäischen Markt, 1980-2050



Quellen: Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (Bafa), IEA (2010), Prognos, EWI, GWS (2010), EC (2010), Berechnungen des Öko-Instituts.

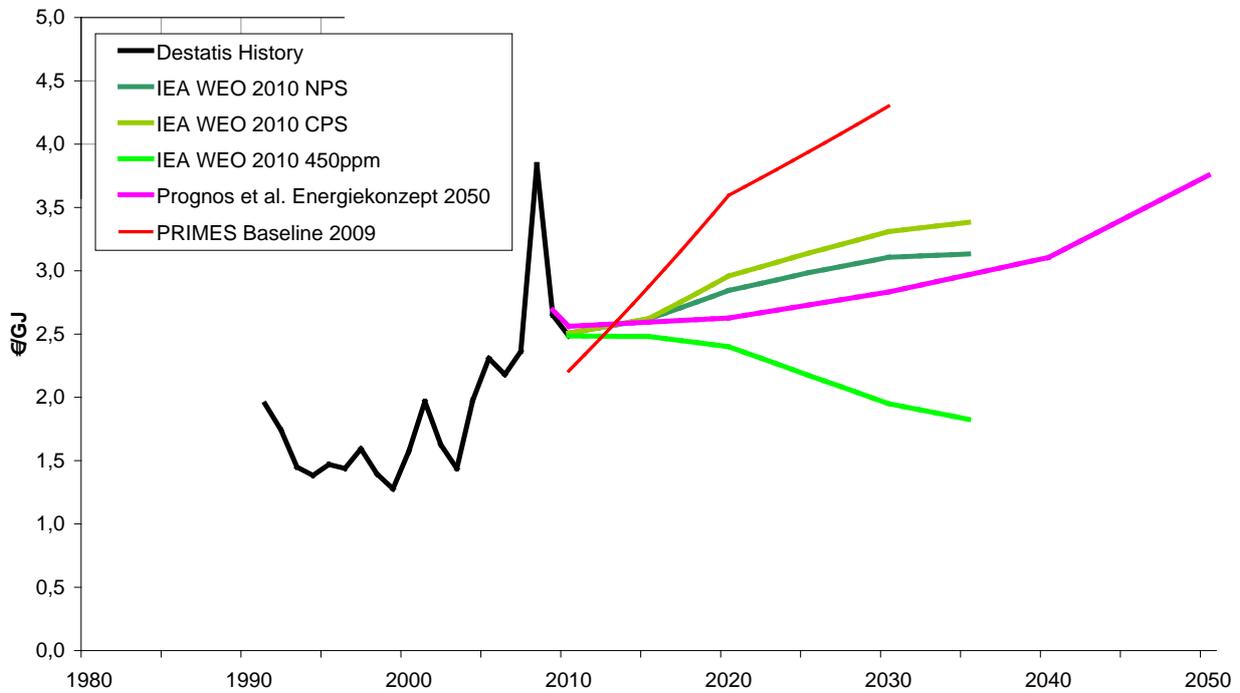
Die Unterschiede zwischen den Projektionen der IEA (2010) und der Europäischen Kommission (EC 2010) einerseits und im Gutachten zum Energiekonzept (Prognos, EWI, GWS 2010) andererseits sind erheblich. Obwohl auch die IEA das Thema „Gasschwemme“ für Europa umfangreich herausstellt, liegen die Annahmen hier für den Zeithorizont 2035 für das Current Policy Scenario um mehr als 2 Eurocent je Kilowattstunde (ct/kWh), zu Preisen von 2008 und bezogen auf den unteren Heizwert (Hu/NCV), über den Annahmen von Prognos, EWI, GWS (2010).<sup>7</sup> Nur in den klimapolitisch ambitionierteren Szenarien ergeben sich – vor allem bedingt durch die dort errechneten niedrigeren Ölpreisniveaus – etwas niedrigere Erdgaspreise, die jedoch stets deutlich über den Annahmen von Prognos, EWI, GWS (2010) liegen. Die der Primes-Baseline 2009 (EC 2010) zu Grunde liegende Preisdynamik entspricht in etwa der des World Energy Outlook 2010 (IEA 2010).

Für die Entwicklung der Weltmarkt- bzw. Importpreise von Steinkohle für Nordwesteuropa liegen die Werte nach Prognos, EWI, GWS (2010) ebenfalls unter den Annahmen in der für eine Referenzentwicklung unter den heutigen Rahmenbedingungen relevanten Szenarienvariante (Current Policies Scenario – CPS) der IEA im aktuellen World Energy Outlook (IEA 2010). Einen

<sup>7</sup> Die von der IEA (2010) in US-Cent ausgewiesenen Erdgaspreise wurden mit den o. g. Annahmen für die Wechselkurse zwischen US-Dollar und Euro in Eurocent umgerechnet. Würden die nach Prognos, EWI, GWS (2010) ab 2030 weiter zurückgehenden Wechselkurse in Ansatz gebracht, würden die Unterschiede zwischen den Erdgaspreisen des World Energy Outlook (IEA 2010) und Prognos, EWI, GWS (2010) im Zeitraum 2030 bis 2035 deutlich größer ausfallen.

im Vergleich aller Projektionen sehr steilen Verlauf nehmen die Preisprojektionen für Steinkohle in der Primes-Baseline 2009 (EC 2010).

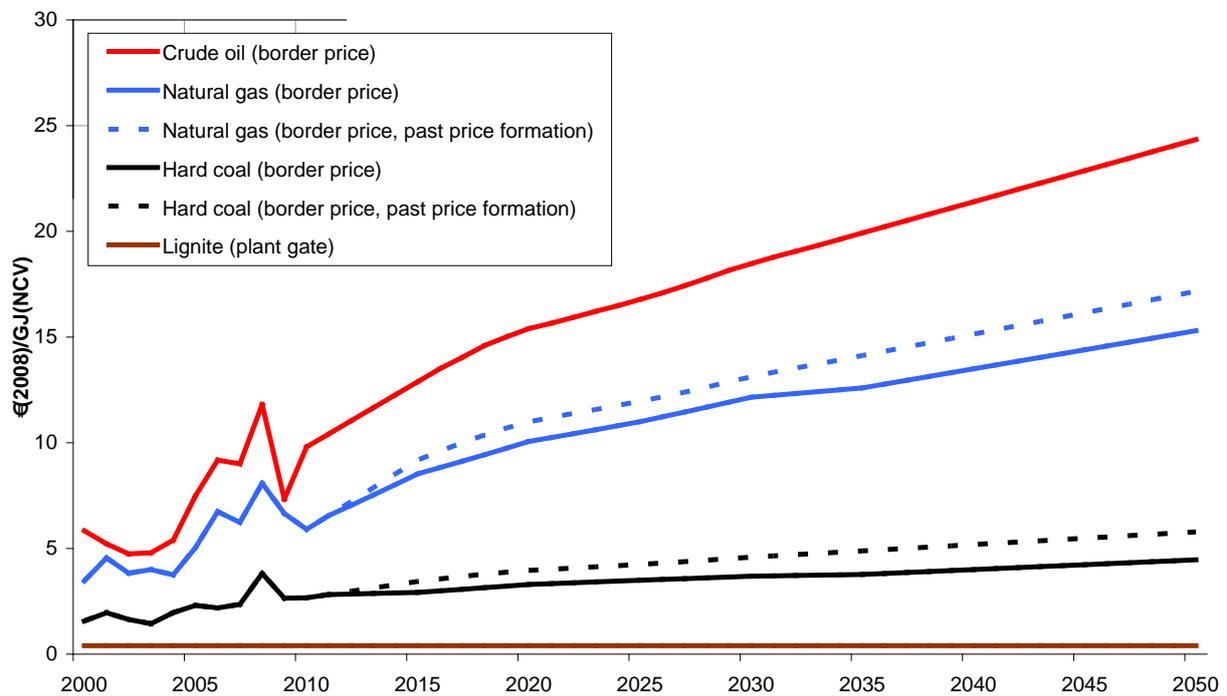
Abb. 2-4: Historischer Verlauf und aktuelle Projektionen für die Entwicklung des Steinkohle-Weltmarktpreises für Lieferungen nach Nordwest-Europa, 1980-2050



Quellen: Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (Bafa), IEA (2010), Prognos, EWI, GWS (2010), EC (2010), Berechnungen des Öko-Instituts.

Vor diesem Hintergrund wird für das Projekt „Politiksznarien VI“ der Ansatz verfolgt, die aus der Vergangenheit ermittelten statistischen Zusammenhänge für die Preisentwicklung von Rohöl auf der einen Seite und Erdgas und Steinkohle (beides für Kontinental- bzw. Nordwesteuropa) auf der anderen Seite (Öko-Institut 2010) durch einen Dämpfungskoeffizienten zu ergänzen, der den Projektionen der IEA zugrunde liegt. Abb. 2-5 zeigt die Effekte der Einführung dieses Dämpfungsfaktors (als durchgezogene Linie im Vergleich zur gestrichelten Linie), wie auch den enormen preistreibenden Effekt der (moderaten) Wechselkursannahme. Die Sensitivität der Erdgas- und Steinkohlenpreise zur Rohölpreisentwicklung wird damit zwar etwas gedämpft, bleibt aber deutlich zu erkennen.

Abb. 2-5: Historischer Verlauf und Projektion für die Entwicklung des Weltmarktpreises für Rohöl sowie der europäischen Preise für Erdgas und Steinkohle Markt, 2000-2050



Quellen: Berechnungen des Öko-Instituts.

Für die Entwicklung des Braunkohlenpreises wird die Annahme von Prognos EWI, GWS (2010) verwendet, dass der Preis hier auf einem stabilen Niveau 0,4 Euro je Gigajoule (€/GJ) verbleiben wird.

### 2.2.4 Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Datenanalysen und Berechnungen zur Entwicklung der Primärenergieträger-Preise für den Referenzfall sind in Tab. 2-2 zusammengefasst.

Im Jahr 2020 werden damit für alle auf internationalen Märkten gehandelten fossilen Brennstoffe die hohen Preisniveaus des Jahres 2008 (zumindest im Jahresdurchschnitt) wieder erreicht. Gleichwohl werden die im Verlauf des Jahres 2008 beobachteten Spitzenwerte bei den Rohöl- und Erdgaspreisen erst deutlich nach 2030 und für Steinkohle erst nach 2040, dann aber als Jahresdurchschnittswerte, wieder übertroffen.

Tab. 2-2: Ergebnisse der Referenzpreis-Projektionen für Rohöl, Erdgas, Stein- und Braunkohle, 2008-2050

|            |            | Historische Werte |      | Projektion |      |      |      |      |
|------------|------------|-------------------|------|------------|------|------|------|------|
|            |            | 2005              | 2008 | 2015       | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
| Rohöl      | US-\$/bbl  | 57                | 102  | 96         | 111  | 126  | 146  | 166  |
| Rohöl      | €/t        | 327               | 484  | 529        | 632  | 758  | 878  | 999  |
| Erdgas     | €/MWh (Ho) | 16,4              | 26,3 | 27,7       | 32,7 | 39,5 | 43,8 | 49,7 |
| Steinkohle | €/t SKE    | 68                | 112  | 86         | 97   | 108  | 117  | 131  |
| Rohöl      | €/GJ       | 7,5               | 11,8 | 12,9       | 15,4 | 18,5 | 21,4 | 24,3 |
| Erdgas     | €/GJ       | 5,0               | 8,1  | 8,5        | 10,1 | 12,2 | 13,5 | 15,3 |
| Steinkohle | €/GJ       | 2,3               | 3,8  | 2,9        | 3,3  | 3,7  | 4,0  | 4,5  |
| Braunkohle | €/GJ       | 0,4               | 0,4  | 0,4        | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  |

Anmerkung: Alle Preisangaben als reale Preise (Basis 2008); soweit nicht anders ausgewiesen beziehen sich alle Angaben auf den unteren Heizwert (Hu/NCV)

Quellen: Berechnungen des Öko-Instituts.

Die Preise für die Sekundärenergieträger und die verschiedenen Endverbrauchsmärkte wurden auf Grundlage der Annahmen zu den Primärenergieträgern im Rahmen der weiteren Modellierungsarbeiten ermittelt, wobei die folgenden Aspekte einbezogen wurden: Verarbeitungskosten (für die Produktherstellung, bei auf Großhandelsmärkten international gehandelten Mineralölprodukten auf Grundlage der Preissensitivitäten in der Vergangenheit), Infrastruktur- und Transport- und Strukturierungskosten, Steuern und Umlagen, Erzeugungsmix bzw. für die Preisbildung relevante Entwicklung der Grenzkraftwerke (für Stromproduktion). Siehe dazu die Ausführungen in Kapitel Ergebnisse der Projektionen 3.8.5 und Tab. 3-123.

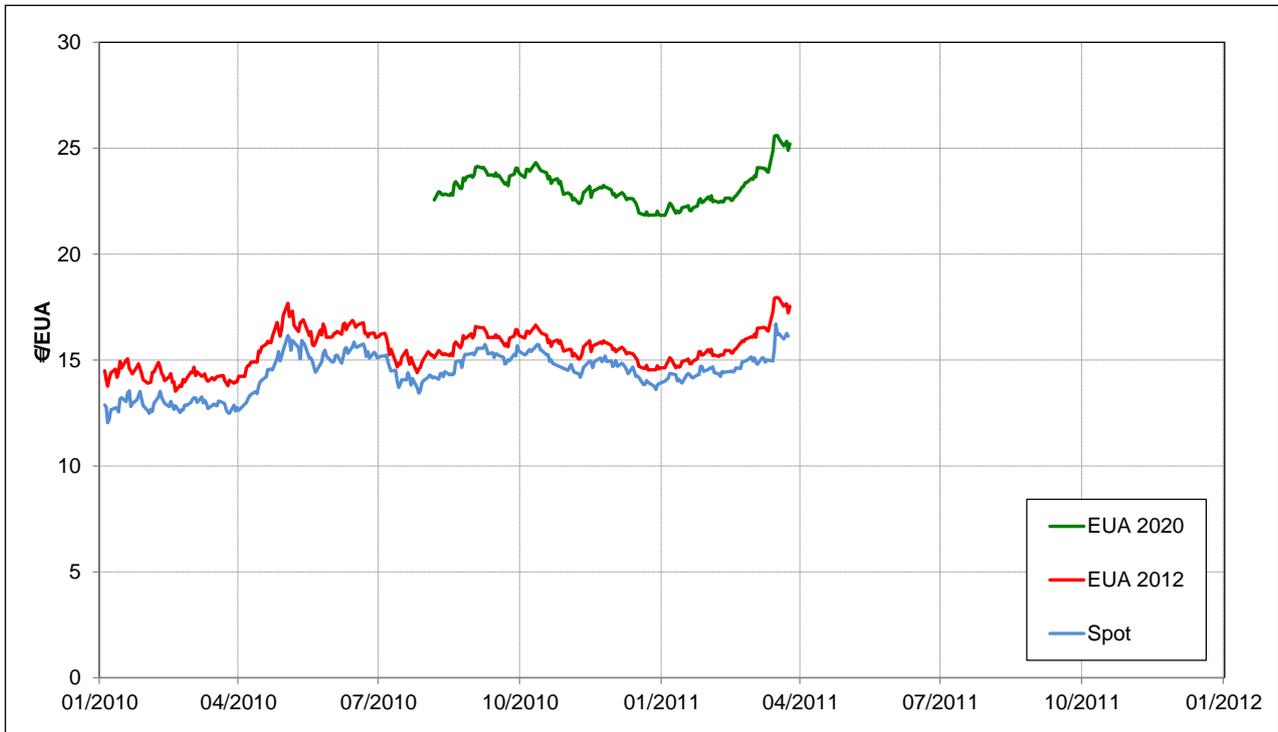
### 2.3 Preise für Treibhausgas-Emissionsberechtigungen

Auch Vorausschätzungen der künftigen Preise für Emissionsberechtigungen sind mit großen Unsicherheiten verbunden. Der Preis lag 2011 mit rund 15 Euro je EU-Emissionsberechtigung (€/EUA) unter früheren Erwartungen<sup>8</sup>. Dies hängt auch mit den Folgen der Wirtschaftskrise zusammen. Mit der Überwindung der Wirtschaftskrise, dürften die CO<sub>2</sub>-Zertifikatspreise wieder steigen. Die künftige Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Preise hängt darüber hinaus (abgesehen von Energiepreisen) von den Zielen zur Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen und von der Behandlung flexibler Mechanismen ab. Zum derzeitigen Stand des internationalen Klimaschutzprozesses ist es noch ungewiss, ob, wann bzw. wie die Rahmenbedingungen des europäischen Emissionshandels an ambitioniertere Ziele angepasst werden.

Im Gutachten zum Energiekonzept (Prognos, EWI, GWS 2010) wird der CO<sub>2</sub>-Preis in der Referenzentwicklung 2020 bei 20 €/EUA sowie 2030 bei 30 €/EUA angesetzt und soll dann bis 2040/2050 auf 40 bzw. 50 €/EUA steigen (Preisbasis jeweils 2008). Diese Preise bewegen sich deutlich unter der Entwicklung, die in der Studie „Politikszenerien für den Klimaschutz V“ betrachtet wurde. Damals wurde bereits für 2020 ein CO<sub>2</sub>-Preis von 30 €/EUA angenommen, der danach bis 2030 auf 35 €/EUA steigt (Preisbasis 2005).

<sup>8</sup> Die Festlegung der Rahmendaten erfolgte im April 2011, die weitere Analyse bezieht sich deshalb auf die bis dahin zu beobachtende Entwicklung. Es sei dennoch zur Information angemerkt, dass im Jahr 2012 der Preis weiter bis auf einen Bereich von 7-8 €/EUA gefallen ist.

Abb. 2-6: Settlement-Preise für den EUA-Spotmarkt sowie EUA-Futures mit Lieferung im Dezember 2012 und Dezember 2020, 2010 bis 2011



Quelle: European Energy Exchange (EEX), European Climate Exchange (ICE ECX).

Mit Blick auf die aktuellen Marktentwicklungen (derzeit werden an der ICE ECX bereits Futures für Lieferungen im Jahr 2020 gehandelt) zeigt sich jedoch eine Situation, die die im Projekt „Politikszenerien für den Klimaschutz V“ gewählten Ansätze unter den derzeitigen Rahmenbedingungen für den EU-Emissionshandelsmarkt als zu hoch erscheinen lässt. Abb. 2-6 zeigt die Entwicklung der Preise für EU-Emissionsberechtigungen mit Liefertermin Dezember 2020, also zur Erfüllung der Compliance-Verpflichtungen für das Jahr 2020. Die Übersicht zeigt, dass hier derzeit Preise von 22 bis 25 €/EUA (nominal) erzielt werden. Unter Annahme einer durchschnittlichen Inflationsrate von 2 % ergibt sich damit für 2020 ein Preisniveau von 17 bis 20 €/EUA in Preisen von 2008, bei einer durchschnittlichen Inflationsrate von 1 % eine Bandbreite von 20 bis 22 €/EUA. Zu ähnlichen Ergebnissen für 2020 kommen im Übrigen auch aktuelle Modellanalysen zur Frage des 20%- vs. 30%-Ziels für die Europäische Union in 2020. PIK et al. (2011) ermitteln hier, ebenfalls auf Grundlage des PRIMES-Modells, für das Jahr 2020 CO<sub>2</sub>-Preise von knapp 20 €/EUA.

Für die langfristig ambitionierten Szenarien liegen die Ausgangsannahmen von Prognos, EWI, GWS (2010) bei 20 €/EUA für 2020, 38,3 €/EUA für 2030, 56,7 €/EUA für 2040 sowie 75 €/EUA für 2050. Andere aktuelle Projektionen, zum Beispiel des britischen Department of Energy and Climate Change (DECC) gehen in der Perspektive – und unter bestimmten Annahmen für das Energiepreismfeld – auch von deutlich höheren Werten aus (DECC 2010).

**Tab. 2-3: Historische Werte und Projektion des UK DECC für die Preise von Treibhausgas-Emissionsberechtigungen, 2008–2025**

|                  | Historische Werte |      | Projektion |      |      |      |
|------------------|-------------------|------|------------|------|------|------|
|                  | 2008              | 2010 | 2010       | 2015 | 2020 | 2025 |
|                  | €/EUA             |      |            |      |      |      |
| Low Prices       |                   |      | 7,9        | 8,9  | 9,9  | 23,6 |
| Central Prices   | 17,4              | 13,9 | 15,8       | 16,7 | 17,7 | 48,3 |
| High Prices      |                   |      | 19,7       | 21,7 | 22,7 | 69,9 |
| High-high Prices |                   |      | 26,6       | 28,6 | 30,5 | 92,6 |

Quellen: European Energy Exchange (EEX), DECC (2010), Berechnungen des Öko-Instituts.

Auch mit Blick auf die aktuellen Preisniveaus und Entwicklungen werden für die Modellierungen im Projekt „Politiksznarien VI“ die o.g. Preisansätze von 20, 30, 40 und 50 €/EUA (jeweils in Preisen von 2008) für die Stützjahre 2020, 2030, 2040 bzw. 2050 verwendet.

In der Variantenanalyse für einen ambitionierten Rahmen von Klimapolitik (wie im EWS-Szenario) werden – in der Gesamtschau der DECC-Projektionen sowie der Annahmen im Gutachten zum Energiekonzept (Prognos, EWI, GWS 2010) – folgende Preisansätze zu Grunde gelegt: 25 €/EUA für 2020, 40 €/EUA für 2030, 60 €/EUA für 2040 sowie 80 €/EUA für 2050.

Schließlich sei noch darauf hingewiesen, dass die hier beschriebenen Projektionen für die CO<sub>2</sub>-Preise unter der Annahme abgeleitet wurden, dass sich die Laufzeiten der deutschen Kernkraftwerke im Rahmen der Restlaufzeit-Mengengerüste der 11. AtG-Novelle, also mit Laufzeitverlängerung, entwickeln. Ein früheres Auslaufen der deutschen Kernkraftwerke, wie im Konzept zur Energiewende vom Sommer 2011 festgelegt, könnte erhöhende Effekte auf die CO<sub>2</sub>-Preise haben. Die empirisch beobachtbaren Marktreaktionen auf die Ankündigung einer (vorläufigen) Stilllegung von acht Anlagen am 14. März 2011 (Abb. 2-6) lassen jedoch vermuten, dass die entsprechenden CO<sub>2</sub>-Preis-Effekte innerhalb der ohnehin existierenden Projektionsunsicherheiten liegen könnten. Dies erklärt sich auch dadurch, dass die Stromproduktion aus deutschen Kernkraftwerken im Vergleich zu den im ETS insgesamt erfassten Strommengen nur einen kleinen Teil ausmacht, bzw. auch in zukünftigen Jahren ausgemacht hätte.

## 2.4 Gesamtwirtschaftliche Entwicklung

Aufgrund des weltwirtschaftlichen Einbruchs, der Mitte 2008 eingesetzt hat, ist das Bruttoinlandsprodukt 2009 in Deutschland gegenüber dem Vorjahr um über 5 % geschrumpft. Ausgehend von dem stark verminderten Niveau der Wirtschaftstätigkeit 2009 zeigte sich im Jahr 2010 eine unerwartet kräftige Erholung, die im Wesentlichen exportgetrieben war. Für die künftige Entwicklung verbleiben allerdings Risiken. Aufgrund der anhaltenden Probleme im Finanzsektor und begrenzter finanzieller Handlungsspielräume öffentlicher Haushalte besteht die Möglichkeit, dass das Wirtschaftswachstum künftig deutlich geringer ausfällt, als vor der Krise erwartet.

Für die Energieszenarien, die dem Energiekonzept der Bundesregierung (BMW, BMU 2010) zugrunde liegen, wird von stark gedämpften Wachstumserwartungen ausgegangen (Tab. 2-4). Das Bruttoinlandsprodukt wächst danach von 2008 bis 2020 – unter Berücksichtigung des Einbruchs im Jahr 2009 - im Durchschnitt um 0,6 % pro Jahr. Von 2020 bis 2030 wird eine durch-

schnittliche Wachstumsrate von 0,8 % pro Jahr erwartet.<sup>9</sup> Zugleich setzt sich der wirtschaftliche Strukturwandel weiter fort, wobei der Anteil von Dienstleistungen an der Wertschöpfung steigt und der Anteil des Produzierenden Gewerbes<sup>10</sup> sinkt. In diesem Szenario ist die Wertschöpfung im Produzierenden Gewerbe im Jahr 2020 nur wenig höher als 2008 und von 2020 bis 2030 wächst sie lediglich um 0,4 % pro Jahr.

Tab. 2-4: Bruttowertschöpfung nach Sektoren und Bruttoinlandsprodukt (Preisbasis 2000), 2008-2030

|                                   | 2008   | 2020  | 2030  |
|-----------------------------------|--------|-------|-------|
|                                   | Mrd. € |       |       |
| <b>Bruttowertschöpfung (BWS)</b>  |        |       |       |
| Produzierendes Gewerbe            | 644    | 649   | 677   |
| Dienstleistungen                  | 1.404  | 1.557 | 1.717 |
| Landwirtschaft                    | 23     | 23    | 23    |
| BWS gesamt                        | 2.072  | 2.229 | 2.418 |
| <b>Bruttoinlandsprodukt (BIP)</b> | 2.270  | 2.437 | 2.632 |

Quelle: Prognos, EWI, GWS (2010).

Auf diese aggregierten Daten zur Wirtschaftsentwicklung (in höherer sektoraler Auflösung werden von Prognos, EWI, GWS (2010) keine Daten dokumentiert) wurde eine eigene Schätzung für die erwartete Entwicklung der Bruttowertschöpfung in den einzelnen Branchen des Verarbeitenden Gewerbes aufgesetzt. Für das Verarbeitende Gewerbe insgesamt (inkl. Gewinnung v. Steinen und Erden, sonst. Bergbau) wurden hier die gleichen Wachstumsannahmen wie von Prognos, EWI, GWS (2010) unterstellt. Die Entwicklung der einzelnen Branchen (Tab. 2-5) orientiert sich an den Annahmen einer ähnlichen Studie von Prognos/Öko-Institut (Prognos, Öko-Institut, Ziesing 2009).

<sup>9</sup> Diese Erwartungen sind noch pessimistischer als die von IER, RWI, ZEW (2010), die in den genannten Zeiträumen mit durchschnittlich 0,9 bzw. 1,0 % Wachstum pro Jahr rechnen.

<sup>10</sup> In der Klassifikation der Wirtschaftszweige (WZ) definiert als Verarbeitendes Gewerbe, Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden, Energie- und Wasserversorgung sowie Baugewerbe.

Tab. 2-5: Bruttowertschöpfung im Sektor Verarbeitenden Gewerbe (Preisbasis 2000), 2008-2030

| Branchen  | WZ 2003                                | 2008          | 2015          | 2020          | 2025          | 2030          |
|---|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Mrd. €  |  |               |               |               |               |               |
| Gew. v. Steinen und Erden, sonst. Bergbau                                 | 13, 14 (o. 10.30, 12)                  | 2,56          | 1,98          | 1,81          | 1,60          | 1,49          |
| Ernährung und Tabak   | 15, 16                                 | 29,14         | 27,06         | 26,93         | 27,15         | 27,27         |
| Papiergewerbe   | 21                                     | 10,42         | 10,75         | 10,49         | 10,28         | 10,31         |
| Grundstoffchemie  | 24.1                                   | 25,90         | 25,64         | 25,14         | 25,13         | 25,05         |
| Sonstige chemische Industrie  | 24 o. 24.1                             | 27,47         | 26,86         | 27,72         | 29,09         | 29,76         |
| Gummi- u. Kunststoffwaren   | 25                                     | 25,71         | 25,27         | 25,75         | 27,06         | 27,52         |
| Glas u. Keramik   | 26.1 bis 26.3                          | 5,89          | 6,26          | 6,27          | 6,32          | 6,19          |
| Verarbeitung v. Steine u. Erden   | 26 o. 26.1 bis 26.3                    | 9,95          | 8,41          | 8,42          | 8,76          | 8,76          |
| Metallerzeugung   | 27.1                                   | 5,65          | 5,64          | 5,55          | 5,06          | 4,65          |
| NE-Metalle, -gießereien   | 27.4, 27.5                             | 7,17          | 7,49          | 7,50          | 7,47          | 7,48          |
| Metallbearbeitung   | DJ o. 27.1, 27.4, 27.5                 | 46,29         | 44,92         | 46,34         | 47,03         | 48,26         |
| Maschinenbau  | 29                                     | 72,37         | 78,11         | 82,37         | 85,14         | 88,29         |
| Fahrzeugbau   | 34, 35                                 | 75,51         | 73,50         | 76,11         | 80,39         | 82,53         |
| Sonstiges Verarbeitendes Gewerbe  | 17, 18, 19, 20, 30, 31, 32, 33, 36, 37 | 152,42        | 153,17        | 159,86        | 162,84        | 169,07        |
| <b>Verarbeitendes Gewerbe u. Gew. Steine-Erden, sonst. Bergbau gesamt</b> |  | <b>496,45</b> | <b>495,33</b> | <b>510,70</b> | <b>523,68</b> | <b>536,98</b> |

Quellen: Destatis (2010b), Prognos, EWI, GWS(2010), Prognos, Öko-Institut, Ziesing (2009), Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Für die Abschätzung der Entwicklung der Erwerbstätigen, die insbesondere im GHD-Sektor eine wichtige Leitgröße für die Szenarien darstellt, wurde ähnlich vorgegangen. Hier liegen bis 2009 Daten vom Statistischen Bundesamt vor (Destatis 2010b), ab 2010 erfolgte eine Abschätzung auf Grundlage von Prognos, EWI, GWS (2010) und den detaillierteren Angaben in Prognos, Öko-Institut, Ziesing (2009).

Tab. 2-6: Entwicklung der Erwerbstätigkeit, 2008-2030

| Sektor   | WZ<br>2003 | 2008   | 2009   | 2015   | 2020   | 2025   | 2030   |
|--|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| in 1.000   |            |        |        |        |        |        |        |
| Land- und Forstwirtschaft; Fischerei                 | A, B       | 860    | 859    | 787    | 734    | 685    | 639    |
| Bergbau u. gew. v. Steinen u. Erden                  | C          | 81     | 76     | 61     | 55     | 52     | 49     |
| Verarbeitendes Gewerbe                               | D          | 7.664  | 7.440  | 6.919  | 6.555  | 6.192  | 5.849  |
| Energie- und Wasserversorgung                        | E          | 281    | 280    | 251    | 233    | 218    | 204    |
| Baugewerbe   | F          | 2.193  | 2.204  | 2.148  | 2.095  | 2.022  | 1.952  |
| Handel; Reparatur v. Kfz u. Gebrauchsgütern          | G          | 5.979  | 5.951  | 5.839  | 5.696  | 5.551  | 5.409  |
| Gastgewerbe  | H          | 1.842  | 1.905  | 1.956  | 1.946  | 1.890  | 1.835  |
| Verkehr und Nachrichtenübermittlung                  | I          | 2.224  | 2.209  | 2.144  | 2.096  | 2.092  | 2.088  |
| Kredit- und Versicherungsgewerbe                     | J          | 1.179  | 1.176  | 1.135  | 1.106  | 1.084  | 1.062  |
| Grundstueckswes., Verm., Dienstl. f. Untern.         | K          | 5.831  | 5.778  | 6.197  | 6.221  | 6.021  | 5.827  |
| Öff. Verw. Verteidigung, Sozialversicherung          | L          | 2.639  | 2.654  | 2.559  | 2.468  | 2.362  | 2.261  |
| Erziehung und Unterricht                             | M          | 2.397  | 2.454  | 2.612  | 2.607  | 2.546  | 2.485  |
| Gesundheits-, Veterinär- und Sozialwesen             | N          | 4.223  | 4.355  | 4.836  | 4.902  | 4.812  | 4.724  |
| Sonstige öff. u. priv. Dienstleister, häusl. Dienste | O, P       | 2.883  | 2.930  | 3.079  | 3.111  | 3.052  | 2.993  |
| Alle Wirtschaftsbereiche                             |            | 40.276 | 40.271 | 40.523 | 39.825 | 38.577 | 37.378 |
| darunter: Industrielle Kleinbetriebe/Handwerk        |            | 1.365  | 1.291  | 1.371  | 1.298  | 1.226  | 1.158  |

Quellen: Destatis (2010b), Prognos, EWI, GWS (2010), Prognos, Öko-Institut, Ziesing (2009), Berechnungen des Fraunhofer ISI.

### 3 Projektionen zum Energieverbrauch und -erzeugung

In diesem Kapitel werden erst die sektorübergreifenden Maßnahmen beschrieben, die in den verschiedenen Sektoren in unterschiedlichem Ausmaß Berücksichtigung finden.

Daran anschließend folgen die Erläuterungen zu den einzelnen Sektoren, wobei jeweils zuerst die Rahmendaten und Maßnahmen vorgestellt werden. Anschließend werden die Methodik und die zu Grunde gelegten Annahmen beschrieben, bevor schließlich die Ergebnisse für beide Szenarien dargestellt werden.

#### 3.1 Übergreifende Maßnahmen

##### 3.1.1 Maßnahmen

###### Aktuelle-Politik-Szenario

Im Aktuelle-Politik-Szenario (APS) wurden im Bereich der übergreifenden Maßnahmen die folgenden **ökonomischen Instrumente** spezifisch betrachtet:

a) EU-Emissionshandel

- Strom: Ab 2013 ist im Emissionshandel im Bereich des Kraftwerkssektors eine vollständige Versteigerung der Emissionsberechtigungen vorgesehen. Da Entscheidungen über Neuinvestitionen, die jetzt getroffen werden, praktisch nicht mehr von kostenlosen Zuteilungen profitieren können, wird für den Bereich des Kraftwerkssektors von einer vollständigen Auktionierung ausgegangen. Für KWK-Anlagen werden die auf den Strom bezogenen Emissionszertifikate grundsätzlich auktioniert, während für die Wärmeproduktion eine teilweise kostenlose Zuteilung auf Grundlage eines (erdgasbasierten) Wärmebenchmarks erfolgt und der verbleibende Teil ebenfalls auktioniert wird. Für Wärme wird die kostenlose Zuteilung auf Basis des Wärmebenchmarks prinzipiell linear von 80 % im Jahr 2013 auf 30 % im Jahr 2020 reduziert.
- Energieintensive Industrie: Die dem EU-Emissionshandelssystem unterliegenden Industrieanlagen erhalten eine kostenlose Zuteilung von Emissionsberechtigungen auf der Basis von Produktbenchmarks, die für die nicht in der Leakage-Liste erfassten Branchen linear von 80 % im Jahr 2013 auf 30 % zurückgeht. Der weitaus überwiegende Teil der Zuteilungen erfolgt an Anlagen in der Carbon Leakage-Liste, mit einer Zuteilung von 100% der Benchmarkwerte.

Im Bereich der übergreifenden ökonomischen Instrumente im weiteren Sinne, also v.a. der **Förderprogramme** wurden die folgenden Maßnahmen spezifisch berücksichtigt:

- b) Energieeffizienzfonds: Im APS werden die Auswirkungen eines Energieeffizienzfonds mit der finanziellen Ausstattung modelliert, wie sie im Änderungsgesetz zum Energie- und Klimafonds (EKF-ÄndG), das am 6. Juni 2011 von der Bundesregierung beschlossen wurde, für den Zeitraum 2011-2015 festgelegt wurde: 2011: 90 Mio. €, 2012: 89 Mio. €, 2013: 291 Mio. €, 2014: 287 Mio. €, 2015: 303 Mio. €. Für die Jahre nach 2015 wird der Betrag aus dem Jahr 2015 konstant weitergeführt. Die Quantifizierung der Maßnahme erfolgt auf sektoraler Ebene in den jeweiligen Sektorkapiteln, wo auch die Schwerpunkte für den Einsatz der Fondsmittel beschrieben werden.

## Energiewende-Szenario

Im Energiewende-Szenario (EWS) wurden im Bereich der übergreifenden Maßnahmen die folgenden **ökonomischen Instrumente** spezifisch betrachtet:

- a) Weiterentwicklung des EU-Emissionshandelssystems: Im Rahmen des Energiewende-Szenarios (EWS) wird von der Festlegung strikterer Klimaschutzziele ausgegangen. Im EWS wird davon ausgegangen, dass es im Rahmen des internationalen Klimaschutzprozesses zu einer Ambitionserhöhung der Klimapolitik in der EU kommt und die entsprechenden Maßnahmen in der EU (EU-Emissionshandelsrichtlinie (RL 2003/87/EG und RL 2009/29/EG), EU-Entscheidung zum Effort sharing (Entscheidung Nr. 406/2009/EG) angepasst werden. Die Auswirkungen dieser Veränderungen auf die Zertifikatspreise wurden durch die Auftragnehmer hinsichtlich folgender Aspekte auf Grundlage einer Literaturanalyse untersucht und berücksichtigt:
  - Anhebung des Minderungsziels der EU von 20 % auf 30 % (gegenüber 1990) und eine entsprechende Veränderung des Caps im EU-Emissionshandelssystem.
  - Begrenzte Nutzung der flexiblen Mechanismen: Ein erhöhter Umfang der Nutzung flexibler Mechanismen hat einen Einfluss auf den Zertifikatspreis. Deshalb wird für das EU-Emissionshandelssystem die Nutzung der flexiblen projektbasierten Mechanismen des Kyoto-Protokolls (JI und CDM) weiterhin als begrenzt unterstellt und mit Blick auf das 30%-Minderungsziel der EU die Nutzung der flexiblen Mechanismen im Vergleich zum 20%-Fall nicht erhöht.
- b) Energiebesteuerung: Änderungen gemäß Energiekonzept (BMW, BMU 2010) – siehe Kapitel Industrie.
- c) Energieeinsparzertifikate („weiße Zertifikate“): Die so genannten „Energieeinsparzertifikate“ (auch bezeichnet als „Effizienzsertifikate“ oder „weiße Zertifikate“) stellen ein relativ neues Instrument zur Förderung der Energieeffizienz dar. Es handelt sich um Zertifikate, die Energieeinsparungen von Marktteilnehmern als Folge von durchgeführten Energieeffizienz- und Energieeinspar-Maßnahmen belegen. Grundlage für das Funktionieren eines Zertifikate-Marktes ist eine Einsparverpflichtung für Energieversorger oder Netzbetreiber, die ein Verfehlen ihrer Verpflichtung mit dem Zukauf von Zertifikaten ausgleichen können. Je nach Ausgestaltung des Systems ist auch ein Handel mit den Zertifikaten möglich. In den letzten Jahren haben u. a. Großbritannien, Italien und Frankreich dieses Instrument eingeführt; Polen ist in der Phase der Einführung.

Die Bundesregierung hat in ihrem Energiekonzept vom 28. September 2010 (BMW, BMU 2010) angekündigt, gemeinsam mit den Verbänden der Energiewirtschaft ein Pilotvorhaben "Weiße Zertifikate" durchzuführen, um zu prüfen, ob mit einem solchen Instrument analog zum Emissionshandel kostengünstige Einspar- und Effizienzpotentiale erschlossen werden können und welche Synergieeffekte mit bereits wirksamen Instrumenten möglich sind. Auf EU-Ebene griff bereits Art. 6 Abs. 2 der Richtlinie zu Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen (RL 2006/32/EG) Einsparzertifikate als mögliches marktwirtschaftliches Instrument zur Realisierung von Energieeinsparungen auf. Die neue EU-Richtlinie zur Energieeffizienz vom 25. Oktober 2012 (RL 2012/27/EU) geht noch darüber hinaus und enthält in Artikel 7, Absatz 1 eine Verpflichtung der Mitgliedstaaten, Einsparquotensysteme (Energieeffizienzverpflichtungssysteme) einzuführen. Dabei sollen die Endenergieanbieter oder die Verteilnetzbetreiber verpflichtet werden, im Zeitraum 1. Januar 2014 bis 31. Dezember 2020 jährlich neue Energieeinsparungen

in Höhe von 1,5 % des über den letzten Dreijahreszeitraum vor dem 1. Januar 2013 gemittelten Absatzvolumen zu erzielen. Nach Artikel 7, Absatz 9 können die Mitgliedstaaten sich auch dafür entscheiden andere strategische Maßnahmen zu ergreifen, um gleichwertige Energieeinsparungen bei Endkunden zu bewirken, sofern die Erreichung des in Absatz 1 festgeschriebenen Zieles gewährleistet ist. .

Vor diesem Hintergrund soll dieses neue übergreifende Instrument zur Erhöhung der Energieeffizienz auch im EWS Berücksichtigung finden. Die Modellierung der Maßnahme erfolgte wie beim Effizienzfonds auf sektoraler Ebene.

Im Bereich der übergreifenden ökonomischen Instrumente im weiteren Sinne, also v.a. der **Förderprogramme** wurden die folgenden Maßnahmen spezifisch berücksichtigt:

- d) Effizienzfonds: Im EWS erfolgte die Modellierung der Auswirkungen eines Effizienzfonds wie im APS. Zusätzlich wurde die Wirkung einer Erhöhung des Fonds um 1 Mrd. modelliert. Die zusätzlichen Gelder sollten nur für Stromeffizienzprogramme eingesetzt werden.

Darüber hinaus wurde in den Analysen eine Reihe **flankierender Instrumente** berücksichtigt, die in die aggregierten Analysen oder in die Bewertung anderer Maßnahmen einbezogen wurden, jedoch nicht als eigene Einzelmaßnahmen bewertet werden konnten. Dazu gehören die Initiative Energieeffizienz der Deutschen Energie-Agentur (dena), die Nationale Klimaschutzinitiative des BMU sowie das im Energiekonzept vorgesehene umfassende Energieforschungsprogramm.

## 3.2 Private Haushalte - Raumwärme und Warmwasser

### 3.2.1 Rahmendaten

#### Wohnflächennachfrage

Für die Analysen im Gebäudesektor sind die Ausgangssituation und die Entwicklung der Gebäudeflächen von wesentlicher Bedeutung. Dabei ist zwischen dem Wohngebäudebestand und neuen Wohngebäudeflächen zu differenzieren.

Der Wohngebäudebestand des Haushaltssektors in Deutschland ist nach dem Statistischen Bundesamt (Destatis 2012b) im Jahr 2010 darin gekennzeichnet, dass er über eine Gesamtwohnfläche von 3,5 Mrd. m<sup>2</sup> verfügt. Mehr als 40,3 Mio. Wohnungen teilen sich auf 18,1 Mio. Wohngebäude auf. Mit fast 20,9 Mio. Wohnungen befinden sich rund 53 % in Mehrfamiliengebäuden, deren Anteil am Gesamtbestand der Wohngebäude bei 17 % liegt. Mehr als zwei Drittel des gesamten Wohnungsbestands wurde vor der ersten Wärmeschutzverordnung 1978 errichtet (Destatis 2012b), so dass der Bestand gemäß dem wärmetechnischen Ausgangszustand über ein großes Energieeinsparpotenzial verfügt. Etwa 85 % des derzeitigen Endenergiebedarfs der Privaten Haushalte entfallen auf die Erzeugung von Raumwärme (73 %) und Warmwasser (12 %).

Die neu fertiggestellte Wohnfläche in Wohngebäuden beträgt im Jahr 2010 gemäß der Statistik (Destatis 2012a) insgesamt 18,8 Mio. m<sup>2</sup>, von denen 16,1 Mio. m<sup>2</sup> auf neu errichtete Gebäude und 2,7 Mio. m<sup>2</sup> auf Baumaßnahmen an bestehenden Gebäuden entfallen. Insgesamt sind mehr als 70 % von den in 2010 fertiggestellten 160.000 Wohnungen in Ein- oder Zweifamilienhäusern enthalten.

Die Fortschreibung der Gebäudeflächen wird mit Hilfe des STE-Wohngebäudesimulationsmodells auf der Basis der Entwicklung der demographischen Rahmendaten für die Wohnbevölkerung und die Haushaltsstruktur gemäß den Angaben in Kapitel 2.1 getrennt für Bestand und Neubau ausgewiesen. Dabei wird für den Bestand gemäß (BBSR 2011b) eine Abrissquote von jährlich 0,2 % für Ein- und Zweifamilienhäuser und jährlich 0,3 % für Mehrfamiliengebäude unterstellt. Für die Entwicklung der Neubauwohnflächen wird angenommen, dass nach den geringen Baufertigstellungen in den Jahren 2009 und 2010 mit 18,5 und 18,8 Mio. m<sup>2</sup> ab dem Jahr 2011 eine jährliche Neubauwohnfläche von 21,5 Mio. m<sup>2</sup> erstellt wird. Dies entspricht einer mittleren Neubaurate von rund 180.000 Wohnungen pro Jahr im Zeitraum 2008 bis 2030 von.

Damit ergibt sich aus der Summe der insgesamt erhalten gebliebenen Bestandsfläche, die ohne Leerstand ausgewiesen wird, sowie der Neubauwohnfläche die bewohnte Wohnfläche (vgl. Tab. 3-1). Unter Einbeziehung der Neubauwohnflächen des Zeitraums 2009 bis 2030 von 0,47 Mrd. m<sup>2</sup> steigt die bewohnte Wohnfläche bei einem bundesweiten Leerstand von 8 %, der über den Untersuchungszeitraum konstant bleibt, von 3,19 Mrd. m<sup>2</sup> im Jahr 2008 um 10 % auf 3,49 Mrd. m<sup>2</sup> im Jahr 2030 an. Die Wohnfläche pro Kopf wächst im gleichen Zeitraum um fast 16 % an.

Die Wohnflächennachfrage führt trotz eines Bevölkerungsrückgangs im Zeitraum 2008 bis 2030 um 5,7 % zu einer Steigerung der bewohnten Wohnfläche um 9 %. Diese gegenläufigen Entwicklungen sind u. a. durch die Alterung der Bevölkerung und die hierdurch ausgelöste altersspezifische Wohnflächennachfrage begründet. Dieser Alters-Effekt wird durch den Ge-

burtskohorten-Effekt, der die Unterschiede zwischen verschiedenen Geburtsjahrgängen aufzeigt, verstärkt. Dabei wird entsprechend (Sachverständigenrat 2011) unterstellt, dass das reale Pro-Kopf-Einkommen bis 2030 um jährlich rund 1,2 % weiter anwachsen wird. Folglich wird im Betrachtungszeitraum für die Wohnflächennachfrage von keinem sinkenden Einkommensimpuls ausgegangen.

Neben diesen Effekten wird durch den Remanenz-Effekt<sup>11</sup> die Wohnflächennachfrage erhöht.

In der Berechnung der Wohnflächennachfrage ist bis 2030 ein leichter Anstieg der Eigentümerquote um 4 Prozentpunkte auf 45 % entsprechend (BBSR 2011b) unterstellt.

Tab. 3-1: Bestandsveränderungen der Wohnfläche bis 2030

|  | 2008                | 2009 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|--|---------------------|------|------|------|------|------|------|
|  | Mrd. m <sup>2</sup> |      |      |      |      |      |      |
| Bestandsfläche (netto, ohne Leerstand) | 3,19                | 3,18 | 3,18 | 3,14 | 3,10 | 3,06 | 3,02 |
| Kumulierte Neubaufäche ab 2009         | 0,00                | 0,02 | 0,04 | 0,14 | 0,25 | 0,36 | 0,47 |
| Bewohnte Wohnfläche Referenz V1-W1     | 3,19                | 3,20 | 3,22 | 3,28 | 3,35 | 3,42 | 3,49 |
|  | m <sup>2</sup>      |      |      |      |      |      |      |
| Wohnfläche pro Kopf                    | 42,2                | 42,5 | 42,8 | 44,2 | 45,6 | 47,2 | 49,1 |
| Bewohnte Wohnfläche pro Kopf           | 38,8                | 39,1 | 39,3 | 40,7 | 42,0 | 43,4 | 45,1 |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

### Entwicklung des Heizkesselbestands

Der Heizkesselbestand der Privathaushalte des Jahres 2010 umfasst insgesamt rund 23,4 Mio. Kessel. Der Bestand wird nach Angaben von (BDH 2011, StBA 2008, Struschka et al. 2008, ZIV 2010) von ca. 11,3 Mio. gasbetriebenen und 6,0 Mio. ölbetriebenen Heizkesseln dominiert. Die gasbetriebenen Heizkessel setzen sich u.a. nach BDH (2011) aus 5,5 Mio. Konstanttemperaturkessel, 2,1 Mio. Niedertemperaturkessel und 3,7 Mio. Brennwertkessel zusammen. Bei den ölbetriebenen Heizkesseln sind derzeit rund 4,1 Mio. Konstanttemperaturkessel, 1,6 Mio. Niedertemperaturkessel und 0,3 Mio. Brennwertkessel im Wohngebäudebestand vorhanden. Zugleich ist festzustellen, dass mehr als 70 % des Kesselbestands des Jahres 2010 als veraltet und sanierungsbedürftig einzustufen ist (BDH 2011). Eigene Analysen zum Zeitraum 2005 bis 2010 auf der Grundlage der Daten des Statistischen Bundesamts im Hinblick auf die eingesetzten Heizungssysteme in Neubauten (StBA), den Angaben des BDH (2011) sowie den Evaluierungen zum KfW-Programm Energieeffizient Sanieren (Clausnitzer et al. (2007-2010), Diefenbach et al. (2010-2011)) zeigen, dass im Bestand derzeit weniger als 4% der Wärmeerzeuger pro Jahr ausgetauscht bzw. erneuert werden. Diese jährliche Sanierungsrate der Heizungssysteme im Bestand, d. h. der jährliche Anteil der Wohngebäude, die den Haupt-Wärmeerzeuger der Heizung erneuert haben, entspricht derzeit einen mittleren Erneuerungszyklus von rund 25 Jahren. Ein Vergleich der Erhebungen des Schornsteinfegerverbands zur Altersstruktur der Öl- und Gasfeuerungsanlagen in Deutschland

<sup>11</sup> Der Remanenzeffekt bezeichnet das Phänomen, dass viele Paare sowohl nach dem Auszug der Kinder aus dem elterlichen Haushalt und insb. später als Alleinlebender häufig in ihren Wohnungen/Gebäuden verbleiben. Vor dem Hintergrund der Alterung der deutschen Bevölkerung ist dies derzeit ein nicht zu unterschätzender Effekt auf die Wohnfläche.

im Zeitraum 2007 bis 2011 belegt, dass das mittlere Alter der Heizungssysteme um mehr als rund 3 Jahre angestiegen ist (ZIV 2007-2011). Folglich kann durch eine verstärkte Erneuerung der Heizkessel bzw. der Heizungssysteme im Bestand ein erhebliches Energieeinsparpotenzial gehoben werden.

Neben den konventionellen Heizungstechniken, wie der Niedertemperatur- und Brennwerttechnik, wurde der Heiztechnikmarkt in den letzten Jahren zunehmend mit einer Vielzahl von innovativen Techniken wie beispielsweise die Wärmepumpentechnik, solarunterstützte Heizungssysteme sowie vollautomatisierte Festbrennstoffkessel, die mit Holzpellets betrieben werden, und Holzhackschnitzelfeuerungen bereichert. Es wird angenommen, dass zukünftig auch Mikro-KWK-Technologien und auch die Brennstoffzellentechnik im kleineren Umfang bis 2030 Anteile am Heizungsmarkt gewinnen werden.

Im Modell wurde die Erneuerung von Heizkesseln für die Justierung der Austauschraten im Ausgangsjahr 2010 auf der Basis der Verkaufstatistiken des (BDH, 2010) und der Analyse der Heizungssanierungen im KfW-Programm „Energieeffizient Sanieren“ (Clausnitzer et al.2008, Clausnitzer et al. 2010b, Clausnitzer et al. 2009b, Clausnitzer et al. 2007, Gabriel, Balmert, 2007) durchgeführt.

Für die Fortschreibung der Heizungssystemstruktur über den Betrachtungszeitraum bis zum Jahr 2030 werden so genannte Austauschraten für die Heizungssysteme festgelegt. Die Austauschrate beschreibt die technologiespezifische Substitutionsrate für die altersbedingt zu ersetzenden Heizungssysteme. Aus der Kombination der Austauschraten sowie der Altersstruktur des jeweiligen Bestandes bzw. den zu ersetzenden Heizungssystemen errechnet sich der aktuelle Bestand von Heizungssystemen. Die Berechnung erfolgt in Jahresschritten.

Die Substitutionsraten der Heizungssysteme und die Durchdringung von innovativen Heiztechniken werden in den Szenarien für alle Energieträger vorgegeben. Zur Abbildung der Dynamik des Heizkesselbestands werden unter Berücksichtigung der abgerissenen Wohnfläche und des unterstellten Erneuerungszyklus der Heizungssysteme die Potenziale für den Einsatz neuer Heizungsanlagen mit dem Wohngebäudesimulationsmodell pro Jahr ermittelt. Da der aktuelle Heizkesselbestand vor allem durch heizöl- und gasbasierte Heizungssysteme dominiert wird, liegen hier die größten Ersatzpotenziale. Die Biomassepotenziale werden in Anlehnung an Krause et al. (2011) in den Szenarien berücksichtigt. Im Folgenden werden die Annahmen deshalb am Beispiel der Austauschraten von heizöl- und gasbasierten Heizungssystemen näher erläutert. Die vorgegebenen Austauschraten der zu ersetzenden Heizungssysteme werden in Tab. 3-2 und Tab. 3-3 differenziert nach den Energieträgern Heizöl und Gas für die verschiedenen Szenarien dargestellt.

In den Szenarien APS und EWS wird angenommen, dass beim Austausch von heizölbasierten Heizungssystemen bis zum Jahr 2030 mindestens eine Restgröße von 30 % für ölbasierte Systeme verbleibt. In diesen beiden Szenarien wird unterstellt, dass die zu ersetzenden Ölheizungen zunehmend durch einen Mix von Heizungssystemen (gasbasierte Systeme, Biomassekessel und Elektrowärmepumpen etc.) substituiert werden. Zudem wird von einer leichten Durchdringung von Mikro-KWK-Anlagen ausgegangen.

Tab. 3-2: Austauschraten von heizölbasierten Heizungssystemen im Szenario APS (alle Angaben in %)

| Heizungssysteme                     | 2009  | 2010  | 2020  | 2030  |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                                     | %     |       |       |       |
| Brennwert Öl                        | 9,9   | 11,7  | 29,6  | 14,6  |
| Brennwert Öl + Solar                | 4,7   | 5,2   | 9,9   | 9,7   |
| Niedertemperatur Öl                 | 24,1  | 22,8  | 9,9   | 4,9   |
| Brennwert Gas                       | 19,8  | 18,9  | 9,9   | 16,6  |
| Brennwert Gas + Solar               | 7,5   | 7,8   | 5,8   | 9,7   |
| Niedertemperatur Gas                | 25,5  | 23,6  | 4,0   | 2,9   |
| Elektrowärmepumpe                   | 2,0   | 2,7   | 9,9   | 14,6  |
| Gaswärmepumpe                       | 0,0   | 0,0   | 0,7   | 0,4   |
| Mikro-KWK Stirling (Gas)            | 0,0   | 0,0   | 2,3   | 1,9   |
| Mikro-KWK Otto (Gas)                | 0,0   | 0,0   | 1,3   | 1,7   |
| Mikro-KWK PEM-Brennstoffzelle (Gas) | 0,0   | 0,0   | 0,7   | 1,0   |
| Biomassekessel                      | 5,7   | 6,4   | 14,8  | 19,5  |
| Stromheizung                        | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   |
| Fernwärme                           | 0,9   | 0,9   | 1,4   | 2,6   |
| <b>Summe</b>                        | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

Beim Austausch der erdgasbasierten Heizungssysteme wird unterstellt, dass diese Systeme ab dem Jahr 2020 ausschließlich durch gasbasierte Heizungssysteme ersetzt werden. Die größten Austauschraten bestehen im Jahr 2030 mit 46,7 % beim Einsatz von Gas-Brennwertkesseln gefolgt von Gas-Brennwertkesseln mit Solar mit 35,3 % sowie mit ca. 13 % beim Einsatz von Mikro-KWK-Systemen. Diese Annahmen gehen davon aus, dass bedingt durch die gegenwärtigen Anreizsysteme KWK-Systeme moderat unterstützt werden. Gaswärmepumpen weisen nur kleine Raten auf, da sie bisher noch nicht in den Markt eingedrungen sind und nur wenige Anbieter existieren. Außerdem bestehen keine wesentlichen Kostenvorteile bzw. keine Anreizsysteme, die einen Ausgleich schaffen.

Tab. 3-3: Austauschraten von erdgasbasierten Heizungssystemen im Szenario APS (alle Angaben in %)

| Heizungssysteme                     | 2009         | 2010         | 2020         | 2030         |
|-------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                                     | %            |              |              |              |
| Brennwert Öl                        | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          |
| Brennwert Öl + Solar                | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          |
| Niedertemperatur Öl                 | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          |
| Brennwert Gas                       | 51,5         | 51,7         | 54,2         | 45,0         |
| Brennwert Gas + Solar               | 16,5         | 18,1         | 26,7         | 34,0         |
| Niedertemperatur Gas                | 22,0         | 20,9         | 9,8          | 4,8          |
| Elektrowärmepumpe                   | 2,9          | 2,6          | 0,0          | 0,0          |
| Gaswärmepumpe                       | 0,0          | 0,0          | 1,0          | 1,0          |
| Mikro-KWK Stirling (Gas)            | 0,0          | 0,0          | 3,4          | 4,8          |
| Mikro-KWK Otto (Gas)                | 0,0          | 0,0          | 2,0          | 4,3          |
| Mikro-KWK PEM-Brennstoffzelle (Gas) | 0,0          | 0,0          | 1,0          | 2,4          |
| Biomassekessel                      | 5,9          | 5,4          | 0,0          | 0,0          |
| Stromheizung                        | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          |
| Fernwärme                           | 1,2          | 1,3          | 2,0          | 3,7          |
| <b>Summe</b>                        | <b>100,0</b> | <b>100,0</b> | <b>100,0</b> | <b>100,0</b> |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

Im Szenario EWS gelten ähnliche Austauschraten wie im Szenario APS (siehe Tab. 3-4 und Tab. 3-5). Allerdings ist zu beachten, dass unterstellt wird, dass ab dem Jahr 2015 sowohl die Niedertemperaturtechnik für gas- und heizölbasierte Heizungssysteme als auch der Einsatz von Brennwertkesseln ohne solarthermische Unterstützung nicht mehr betrieben werden. Ordnungspolitisch wird dies v.a. durch das Instrument „Steigerung der Nachrüstverpflichtungen“ begleitet. Die Austauschraten werden in diesen Fällen für öl- und gasbetriebene Heizungssysteme ab 2015 summiert als Brennwertkessel mit Solar berücksichtigt. Dies bedeutet beispielsweise, dass im EWS beim Austausch von heizölbetriebenen Heizungssystemen im Jahr 2020 insgesamt 50 % der neu installierten bzw. erneuerten Heizungen Öl-Brennwertkessel mit Solar sind.

Tab. 3-4: Austauschraten von heizölbasierten Heizungssystemen im Szenario EWS (alle Angaben in %)

| Heizungssysteme                     | 2009         | 2010         | 2020         | 2030         |
|-------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                                     | %            |              |              |              |
| Brennwert Öl                        | 9,9          | 11,7         | 0,0          | 0,0          |
| Brennwert Öl + Solar                | 4,7          | 5,2          | 49,1         | 28,8         |
| Niedertemperatur Öl                 | 24,1         | 22,8         | 0,0          | 0,0          |
| Brennwert Gas                       | 19,8         | 18,9         | 0,0          | 0,0          |
| Brennwert Gas + Solar               | 7,5          | 7,8          | 19,6         | 28,9         |
| Niedertemperatur Gas                | 25,5         | 23,6         | 0,0          | 0,0          |
| Elektrowärmepumpe                   | 2,0          | 2,7          | 9,8          | 14,4         |
| Gaswärmepumpe                       | 0,0          | 0,0          | 0,7          | 0,4          |
| Mikro-KWK Stirling (Gas)            | 0,0          | 0,0          | 2,3          | 1,8          |
| Mikro-KWK Otto (Gas)                | 0,0          | 0,0          | 1,3          | 1,6          |
| Mikro-KWK PEM-Brennstoffzelle (Gas) | 0,0          | 0,0          | 0,7          | 1,0          |
| Biomassekessel                      | 5,6          | 6,4          | 14,7         | 19,3         |
| Stromheizung                        | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          |
| Fernwärme                           | 0,9          | 1,0          | 1,8          | 3,8          |
| <b>Summe</b>                        | <b>100,0</b> | <b>100,0</b> | <b>100,0</b> | <b>100,0</b> |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

Tab. 3-5: Austauschraten von erdgasbasierten Heizungssystemen im Szenario EWS (alle Angaben in %)

| Heizungssysteme                     | 2009         | 2010         | 2020         | 2030         |
|-------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                                     | %            |              |              |              |
| Brennwert Öl                        | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          |
| Brennwert Öl + Solar                | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          |
| Niedertemperatur Öl                 | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          |
| Brennwert Gas                       | 51,4         | 51,7         | 0,0          | 0,0          |
| Brennwert Gas + Solar               | 16,5         | 18,0         | 80,8         | 73,6         |
| Niedertemperatur Gas                | 22,0         | 20,9         | 0,0          | 0,0          |
| Elektrowärmepumpe                   | 2,9          | 2,6          | 3,9          | 3,8          |
| Gaswärmepumpe                       | 0,0          | 0,0          | 1,0          | 0,9          |
| Mikro-KWK Stirling (Gas)            | 0,0          | 0,0          | 3,4          | 4,7          |
| Mikro-KWK Otto (Gas)                | 0,0          | 0,0          | 1,9          | 4,3          |
| Mikro-KWK PEM-Brennstoffzelle (Gas) | 0,0          | 0,0          | 1,0          | 2,4          |
| Biomassekessel                      | 5,9          | 5,4          | 5,4          | 4,7          |
| Stromheizung                        | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          |
| Fernwärme                           | 1,3          | 1,4          | 2,6          | 5,5          |
| <b>Summe</b>                        | <b>100,0</b> | <b>100,0</b> | <b>100,0</b> | <b>100,0</b> |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

Neben den Austauschraten der Heizungssysteme sind in Tab. 3-6 die unterstellten mittleren Anlagennutzungsgrade differenziert für Ein- und Mehrfamilienhäuser in den Jahren 2009 und 2030 ausgewiesen. Diese resultieren aus den gebäudetypischen Nutzungsgraden der einzelnen Baualterklassen. Mit Hilfe einer Polynomfunktion sowie der Angabe eines Gültigkeitsbereiches, konnten die in den Szenarienberechnungen benötigten dynamischen Abhängigkeiten des Anlagennutzungsgrades vom Gebäudewärmebedarf in Einfamilienhäusern für jede Technik er-

stellt werden. Die thermischen und elektrischen Nutzungsgrade sind somit endenergiebezogen (Krause et al. 2011).

Unter der Berücksichtigung des Voll- und Teillastbetriebs je Anlage ist es möglich realitätsnahe Simulationsergebnisse zu erhalten. Bei bivalenten Heizungssystemen ist der Teillastbetrieb bestimmt durch das innovative Modul, während der Volllastbetrieb durch das Zusatzheizgerät (für das hier in der Regel ein Brennwertgerät angenommen wird) definiert wird. Somit entspricht die Gesamtleistung des Heizungssystems im Falle konventioneller Techniken der Leistung im Volllastbetrieb und errechnet sich bei bivalenten Systemen aus der Summe der Leistungen im Teil- und Volllastbetrieb. Die Elektrowärmepumpe und Stromheizung werden als taktende Heizungssysteme geregelt durch Ein- und Ausschaltungen berücksichtigt<sup>12</sup>.

Die in Mehrfamilienhäusern eingesetzten Heizungssysteme wurden nicht dynamisch in Abhängigkeit des Jahreswärmebedarfs sondern bedarfsgerecht gemäß Krause et al. (2011) ausgelegt.

Tab. 3-6: Unterstellte mittlere Anlagennutzungsgrade für die erneuerten Heizungssysteme in den Szenarien (alle Angaben in %)

| Heizungssystem                                      | Einfamilienhaus |       | Mehrfamilienhaus |       |
|---|-----------------|-------|------------------|-------|
|   | 2009            | 2030  | 2009             | 2030  |
|   | %               |       |                  |       |
| Brennwert Öl  | 92,8            | 92,8  | 92,8             | 92,8  |
| Brennwert Öl + Solar                                | 104,9           | 115,8 | 102,7            | 102,7 |
| Niedertemperatur Öl                                 | 92,3            | 92,3  | 92,3             | 92,3  |
| Brennwert Gas                                       | 96,0            | 96,1  | 93,7             | 93,7  |
| Brennwert Gas + Solar                               | 108,0           | 119,0 | 103,5            | 103,5 |
| Niedertemperatur Gas                                | 92,5            | 92,5  | 92,3             | 92,3  |
| Elektrowärmepumpe                                   | 300,0           | 300,0 | 300,0            | 300,0 |
| Gaswärmepumpe + Gas-Brennwertkessel                 | 142,0           | 143,1 | 150,0            | 150,0 |
| Mikro-KWK Stirling + Gas-Brennwertkessel            | 96,0            | 96,0  | -                | -     |
| Mikro-KWK Otto + Gas-Brennwertkessel                | 93,0            | 92,9  | 91,1             | 91,1  |
| Mikro-KWK PEM-Brennstoffzelle + Gas-Brennwertkessel | 89,5            | 89,0  | 90,2             | 96,4  |
| Pellet- und Scheitholzvergaserkessel                | 91,0            | 91,0  | 91,0             | 91,0  |
| Stromheizung  | 100,0           | 100,0 | 100,0            | 100,0 |
| Fernwärme   | 100,0           | 100,0 | 100,0            | 100,0 |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

### Energieträgerentwicklung

Für die Neubauten im Zeitraum 2009 bis 2030 wird die in Tab. 3-7 dargestellte Energieträgerentwicklung berücksichtigt. Die Schwerpunkte der Beheizungssysteme für Neubauten liegen demnach im Einsatz von gasbasierten Heizungssystemen und der Verwendung der Wärmepumpentechnik.

<sup>12</sup> Die Daten der Elektrowärmepumpe wurden unter Berücksichtigung von gemessenen Leistungszahlen [WPZW2010] ermittelt. Es handelt sich um eine nichtmodulierende Wärmepumpe mit Erdwärmenutzung. Über die Angaben der Effizienz bei verschiedenen Bodentemperaturen und Daten zum jährlichen Verlauf der Bodentemperatur aus DIN 4710 [DIN2003] konnte der Einfluss der sich im Jahresverlauf ändernden Quellentemperaturen in der Simulation berücksichtigt werden.

Tab. 3-7: Mittelwerte der angenommenen Energieträger in Neubauten (alle Angaben in %)

| Energieträgerentwicklung | Einfamilienhaus<br>2009-2030 | Mehrfamilienhaus<br>2009-2030 |
|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|
|                          | %                            |                               |
| Gas                      | 53,6                         | 67,0                          |
| Heizöl                   | 5,7                          | 2,8                           |
| Umweltwärme              | 26,6                         | 9,2                           |
| Fernwärme                | 3,9                          | 15,2                          |
| Biomasse                 | 7,5                          | 4,5                           |
| Solarenergie             | 1,0                          | 0,6                           |
| Strom                    | 1,5                          | 0,6                           |
| Kohle                    | 0,2                          | 0,1                           |
| <b>Summe</b>             | <b>100,0</b>                 | <b>100,0</b>                  |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE<sup>13</sup>.

### 3.2.2 Maßnahmen

#### Aktuelle-Politik-Szenario

Für die privaten Haushalte werden auf der Basis des STE-Gebäudesimulationsmodells im Aktuelle-Politik-Szenario die Maßnahmen und Instrumente berücksichtigt, die im Rahmen des Energiekonzepts der Bundesregierung bis einschließlich Juni 2011 beschlossen worden sind. Die Realisierung des Energiewende -Szenarios erfordert weitergehende Maßnahmen und Instrumente, die in der Tab. 3-8 aufgelistet sind.

<sup>13</sup> Es werden Ausgangsdaten als Startwerte für diese Untersuchung aus: Statistisches Bundesamt: Bauen und Wohnen, Bautätigkeit, Fachserie 5 Reihe 1, 2010 verwendet.

Tab. 3-8: Analysierte Instrumente

| Aktuelle-Politik-Szenario   | Energiewende-Szenario   |
|---|---|
| Quantifizierbare Instrumente  |   |
| Energieeffizient Sanieren<br>Energieeffizient Bauen<br>Förderung des Stadtumbaus<br>Soziale Wohnraumförderung<br>Marktanreizprogramm Erneuerbare Energien<br>Energie-Einspar-Verordnung<br>Erneuerbares-Energien-Wärmegeesetz<br>Novellierung der Heizkostenverordnung<br>Energieberatung vor Ort | Erhöhung der Effizienzstandards der KfW-Programme<br>Änderung des KfW-Wohneigentumprogramms<br>Bestandsersatz als KfW-Programmvariante<br>Beschränkung des Programms Energieeffizient Bauen<br>Bonusförderung der Einspeisung EE in Wärmenetze<br>Ausbau der Städtebauförderung<br>Förderprogramm Energetische Städtebauförderung<br>Wärme-Contracting im Mietwohnungsmarkt<br>Stärkung des Marktanreizprogramms EE<br>Steuerliche Absetzbarkeit von Sanierungskosten<br>Vereinfachung der Sanierung im Mietwohnungsmarkt<br>Novellierung des EEWärmeG<br>Novelle der EnEV 2009<br>Steigerung der Nachrüstverpflichtungen der EnEV<br>Stärkung des Vollzugs der EnEV<br>Ökodesignrichtlinie - Dfm. Heizungssysteme<br>Vermehrte Anordnung eines Fernwärmeanschlusszangs |
| Nicht quantifizierbare Instrumente  |   |
| Dena<br>Information und Motivation<br>Weiterbildungs- und Qualitätsoffensiven<br>F&E im Gebäude- und Heizungsbereich  | Verstärkung von Energieforschung und Innovation<br>Verbesserung der Effizienz der Wohnraumbelegung<br>Verringerung des Neubaubedarfs  |

Quelle: Zusammenstellung des IEK-STE.

Für das Aktuelle-Politik-Szenario (APS) wurden die folgenden quantifizierbaren Förderinstrumente berücksichtigt:

- a) **KfW-Programm „Energieeffizient Sanieren“:** Mit den Programmen der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) zum Förderschwerpunkt Wohnen werden insbesondere energetische Sanierungen von Wohngebäuden mit langfristigen zinsverbilligten Darlehen oder Zuschüssen gefördert. Das Förderprogramm „Energieeffizient Sanieren“ ist 2009 aus dem früheren Programm zur „CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierung“ sowie der ÖKO-Plus-Variante des Programms „Wohnraum Modernisieren“ hervorgegangen. Das Programm ermöglicht die Förderung der Sanierungskosten von Einzelmaßnahmen bis zu max. 50.000 Euro oder die vollständige energetische Sanierung zum Erreichen von Effizienzhausstandards mit max. 75.000 Euro pro Wohneinheit. Bei den Komplettsanierungen werden derzeit Maßnahmen gefördert, die gemäß der geltenden EnEV 2009 zu den Effizienzhausstandards (KfW-115, KfW-100, KfW-85, KfW-70, KfW-55) führen. Zusätzlich werden gestaffelt nach dem erreichten Effizienzhausstandard Tilgungszuschüsse gewährt. Erweiterungen des Programms werden ab April 2012 mit der Förderung der Optimierung der Wärmeverteilung vorgenommen. Zudem werden für denkmalgeschützte Wohngebäude Anforderungen an Einzelmaßnahmen und der Effizienzhausstandard „Denkmal“ (KfW-160)

eingeführt, der maximal 160 % des Jahresprimärenergiebedarfs der errechneten Werte für das entsprechende Referenzgebäude überschreiten darf.

Insgesamt wurden im Rahmen des KfW-Programms „Energieeffizient Sanieren“ sowie der vorherigen Förderprogramme im Zeitraum 2001 bis 2010 mehr als 1,3 Mio. Wohnungen und ca. 112 Mio. m<sup>2</sup> Wohnfläche energetisch saniert. Mit den Bundesmitteln von rund 7,2 Mrd. Euro wurden im gleichen Zeitraum energetische Investitionen durch Kredite und Zuschüsse in Höhe von 28,5 Mrd. Euro angestoßen. Die im Zeitraum 2001 bis 2010 getätigten Investitionen führen somit im Vergleich zu den zur Verfügung gestellten Fördermitteln zu einer vierfachen Hebelwirkung (vgl. Tab. 3-9). Im Jahr 2010 konnte dieser Hebel auf 4,5 gesteigert werden, da die Förderung von Einzelmaßnahmen (trotz Aufhebung ab September 2011) verstärkt nachgefragt wurde.

Nach eigenen Abschätzungen und den Analysen zu den jährlichen Effekten des Programms Energieeffizient Sanieren konnten im Haushaltssektor durch energetische Sanierungen der Wohngebäude im Zeitraum 2001 bis 2010 rund 4,2 Mio. t CO<sub>2</sub> eingespart werden (vgl. Clausnitzer et al. 2008, Clausnitzer et al. 2010a, Clausnitzer et al. 2009a, Clausnitzer et al. 2007, Diefenbach et al. 2011, Gabriel, Balmert, 2007).

Tab. 3-9: Effekte des KfW-Programms Energieeffizient Sanieren (2001 bis 2010)

|                          |                        | 2001 | 2002 | 2003  | 2004  | 2005  | 2006  | 2007  | 2008  | 2009  | 2010  | 2001-2010 |
|--------------------------|------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| Finanzmittel des Bundes  | Mio. EUR               | 200  | 200  | 280   | 360   | 287   | 1.200 | 757   | 1.128 | 1.702 | 1.127 | 7.241     |
| Zugesagtes Kreditvolumen | Mio. EUR               | 507  | 725  | 1.146 | 1.435 | 2.312 | 4.998 | 2.592 | 3.850 | 5.670 | 4.945 | 28.180    |
| Zuschüsse                | Mio. EUR               |      |      |       |       |       |       | 15    | 27    | 99    | 147   | 288       |
| Sanierte Wohneinheiten   | Tsd.                   | 31,5 | 43,2 | 69,0  | 90,1  | 69,9  | 149,2 | 88,6  | 134,3 | 310,1 | 343,5 | 1.329     |
| Sanierte Wohnfläche      | Mio. m <sup>2</sup>    | 2,6  | 3,6  | 4,9   | 5,2   | 6,4   | 13,0  | 7,8   | 11,6  | 27,6  | 29,4  | 112       |
| Emissionseinsparungen    | Mio. t CO <sub>2</sub> | 0,11 | 0,16 | 0,25  | 0,31  | 0,49  | 0,71  | 0,33  | 0,55  | 0,72  | 0,58  | 4,19      |

Quellen: BR (2011b), Clausnitzer et al. (2008), Clausnitzer et al. (2007), Gabriel, Balmert (2007) und Berechnungen des IEK-STE.

Nach den Zielsetzungen des Energiekonzepts der Bundesregierung (BMW, BMU 2010) sollen für die Programme Energieeffizient Sanieren und Bauen insgesamt Fördermittel von jährlich 2,0 Mrd. Euro zur Verfügung gestellt werden. In 2011 wurden allerdings insgesamt nur 936 Mio. Euro für diese Programme bereitgestellt. Für die Berechnung der Maßnahmenwirkungen bis zum Jahr 2030 wird unterstellt, dass ab 2012 jährlich 1,5 Mrd. Euro, wie es der Bundeshaushalt für den Zeitraum 2012 bis 2014 vorsieht, kontinuierlich eingesetzt werden. Dabei werden in diesem Szenario die Förderstandards nach den derzeitigen Anforderungen fortgeschrieben. Mehr als vier Fünftel der Fördersumme werden für den Bereich Energieeffizient Sanieren angenommen. Bei Fortführung der Nachfragen nach Komplett-sanierungen oder Einzelmaßnahmen wird ein Förderhebel zu den insgesamt zugesagten Krediten und Zuschüssen von 4,5 berücksichtigt.

Die ausgelösten energetischen Sanierungen führen nach den Analysen der Förderjahre 2005 bis 2010 insgesamt zur Reduktion des Energiebedarfs in Höhe von 9,8 TWh und zur Substitution der fossilen Energieträger zugunsten der erneuerbaren Energien in einer Größenordnung von 1,3 TWh. Werden die Trends unter Berücksichtigung der Neuerungen (ab April 2012) im Zeitraum 2012 bis 2030 fortgeführt, so können jährlich rund 28 Mio. m<sup>2</sup> Wohnfläche saniert und Energieeinsparungen von ca. 3,0 TWh sowie CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktionen von rund 0,72 Mio. t erzielt werden. Die kumulierten eingespar-

ten CO<sub>2</sub>-Emissionen von 2009 bis 2030 könnten sich nach Tab. 3-10 unter diesen Annahmen auf 15,1 Mio. t CO<sub>2</sub> summieren.

Tab. 3-10: Wirkungen des KfW-Förderprogramms Energieeffizient Sanieren (2009 bis 2030)

|                                       |          | 2009  | 2010  | 2011  | 2015  | 2020  | 2025  | 2030  |
|---------------------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Finanzmittel des Bundes               | Mio. EUR | 1.702 | 1.127 | 783   | 1.255 | 1.255 | 1.255 | 1.255 |
| Kreditvolumen/Zuschüsse               | Mio. EUR | 5.769 | 5.092 | 2.570 | 5.587 | 5.587 | 5.587 | 5.587 |
| CO <sub>2</sub> -Minderung            | Mio. t   | 0,75  | 0,57  | 0,20  | 0,72  | 0,72  | 0,71  | 0,71  |
| Kumulierte CO <sub>2</sub> -Minderung | Mio. t   | 0,75  | 1,32  | 1,52  | 4,36  | 7,94  | 11,51 | 15,08 |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

- b) Das **KfW-Programm „Energieeffizient Bauen“** ersetzt seit April 2009 das frühere Programm “Ökologisch Bauen“. Es dient der langfristig zinsgünstigen Finanzierung für die Errichtung, Herstellung und den Ersterwerb von energiesparenden Effizienzhäusern. Derzeit werden nach der EnEV 2009 die Effizienzhäuser KfW-70, KfW-55 und KfW-40 mit einem maximalen Kreditbetrag von 50.000 Euro pro Wohneinheit gefördert und ergänzend für die Standards KfW-55 und KfW-40 Tilgungszuschüsse von 5 % und 10 % gewährt.

In den vergangenen sieben Jahren (2005 bis 2011) wurden insgesamt rund 400.000 Wohnungen gefördert. Im Jahr 2011 erreichten die geförderten Neubauwohnungen einen Anteil an den insgesamt errichteten Wohnungen von mehr als 50 %.

Die Anzahl der jährlich geförderten Neubauwohnungen steigt entsprechend dem zu erwartenden leichten Anstieg der Neubautätigkeiten auf jährlich rund 90.000 Neubauten an. Das jährlich nachgefragte Kreditvolumen steigt auf 4,1 Mrd. Euro an.

Unter der Berücksichtigung dieser Annahmen können durch die Energiehausstandards Einsparungen gegenüber dem jeweils gültigen Referenzfall für Neubauten gemäß der EnEV bestimmt werden. Diese belaufen sich auf eine kumulierte CO<sub>2</sub>-Minderung von rund 0,2 Mio. t CO<sub>2</sub> bis 2030 (vgl. Tab. 3-11).

Tab. 3-11: Wirkungen des KfW-Förderprogramms Energieeffizient Bauen (2009 bis 2030)

|                                       |          | 2009  | 2010  | 2011  | 2015  | 2020  | 2025 | 2030 |
|---------------------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| Kreditvolumen - Gesamt                | Mio. EUR | 3.094 | 3.667 | 3.613 | 4.100 | 4.100 | 0    | 0    |
| Geförderte Neubauwohnungen            | Tsd.     | 70    | 84    | 81    | 90    | 90    | 0    | 0    |
| CO <sub>2</sub> -Minderung            | Mio. t   | 0,02  | 0,02  | 0,01  | 0,01  | 0,01  | 0,00 | 0,00 |
| Kumulierte CO <sub>2</sub> -Minderung | Mio. t   | 0,02  | 0,04  | 0,05  | 0,11  | 0,16  | 0,16 | 0,16 |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

Zusammenfassend könnten mit der KfW-Förderung in den Bereichen Energieeffizient Sanieren und Energieeffizient Bauen im Zeitraum 2009 bis 2030 CO<sub>2</sub>-Emissionseinsparungen von rund 15,2 Mio. t erzielt werden.

- c) **Förderung des Stadtumbaus:** Die Finanzhilfen des Bundes zur Förderung des Stadtumbaus sollen nach der Verwaltungsvereinbarung zur Städtebauförderung 2012 die Gemeinden mit Gebieten, die von erheblichen städtebaulichen Funktionsverlusten betrof-

fen sind, in die Lage versetzen, sich frühzeitig auf Strukturveränderungen vor allem in Demographie und Wirtschaft und auf die damit verbundenen städtebaulichen Auswirkungen einzustellen. So werden mit dem Programm "Stadtumbau West" seit 2004 u. a. Maßnahmen zum Rückbau von leerstehenden Gebäuden gefördert. Ferner wird auch die Erhaltung von Gebäuden mit baukultureller Bedeutung, wie z.B. die Instandsetzung und Modernisierung von das Stadtbild prägenden Gebäuden unterstützt.

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.

Für die Berechnung der Wirkungen in den Förderprogrammen werden für die Jahre 2009 bis 2012 die Städtebaufördersummen des Bundes der Verwaltungsvereinbarungen unterstellt. Für den Zeitraum nach 2012 wird die Förderung städtebaulicher Maßnahmen auf dem Niveau des Jahres 2012 fortgeführt. Die jährliche Förderung von Bund und Land beläuft sich demnach im Programm Stadtumbau Ost ab 2012 auf 164,2 Mio. Euro und im Stadtumbau West auf 142,0 Mio. Euro. Unter Berücksichtigung des Multiplikators aus den programmspezifischen Bündelungs- und Anstoßeffekten, wobei die Effekte der Städtebaufördermittel des Bundes und des Landes nach (BMVBS 2011) auf die gesamte öffentlichen und privaten Investitionen bezogen werden, ergeben sich die jeweiligen angestoßenen Gesamtinvestitionen. Der Multiplikator für den analysierten Gesamteffekt gemäß (BMVBS 2011) im Stadtumbauprogramm Ost beläuft sich auf 7,9 und im Stadtumbauprogramm West auf 9,8.

Für die Abschätzung der anrechenbaren CO<sub>2</sub>-Einsparungen durch energetische Sanierungen wird angenommen, dass 50 % der Investitionen für Aufwertungsmaßnahmen, von denen nach eigenen Schätzungen rund 20 % für energetische Sanierungsmaßnahmen angesetzt werden können, verwendet werden. Mit den mittleren Stadtwohnungsgrößen in Ost- und Westdeutschland (ca. 70 und 87 m<sup>2</sup>) und einer angesetzten mittleren spezifischen CO<sub>2</sub>-Einsparung von rund 17,5 kg/m<sup>2</sup> ergeben sich nach den Tab. 3-12 und Tab. 3-13 für das Förderprogramm Stadtumbau Ost bis 2030 ein mögliches Einsparpotenzial von 0,16 Mio. t CO<sub>2</sub> sowie nach Tab. 3-13 für das Stadtumbauprogramm West von 0,17 Mio. t CO<sub>2</sub>.

Tab. 3-12: CO<sub>2</sub>-Einsparungen 2009 bis 2030 im Förderprogramm Stadtumbau Ost

|  |          | 2009 | 2010 | 2011 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|--|----------|------|------|------|------|------|------|------|
| Finanzmittel von Bund und Land                 | Mio. EUR | 242  | 190  | 164  | 164  | 164  | 164  | 164  |
| Angestoßene Sanierungsinvestitionen            | Mio. EUR | 191  | 150  | 131  | 130  | 130  | 130  | 130  |
| CO <sub>2</sub> -Minderungen durch Sanierungen | Mio. t   | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,05 | 0,09 | 0,12 | 0,16 |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

Tab. 3-13: CO<sub>2</sub>-Einsparungen 2009 bis 2030 im Förderprogramm Stadtumbau West

|   |          | 2009 | 2010 | 2011 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|---|----------|------|------|------|------|------|------|------|
| Finanzmittel von Bund und Land                  | Mio. EUR | 192  | 172  | 151  | 142  | 142  | 142  | 142  |
| Angestoßene Sanierungs-<br>investitionen        | Mio. EUR | 188  | 168  | 148  | 139  | 139  | 139  | 139  |
| CO <sub>2</sub> -Minderung durch<br>Sanierungen | Mio. t   | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,06 | 0,09 | 0,13 | 0,17 |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

Tab. 3-14: CO<sub>2</sub>-Einsparungen 2009 bis 2030 im Förderprogramm Aktive Stadt- und Ortsteilzentren

|   |          | 2009 | 2010 | 2011 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|---|----------|------|------|------|------|------|------|------|
| Finanzmittel von Bund und Land                  | Mio. EUR | 86   | 172  | 181  | 186  | 186  | 186  | 186  |
| Angestoßene Sanierungs-<br>investitionen        | Mio. EUR | 37   | 74   | 78   | 80   | 80   | 80   | 80   |
| CO <sub>2</sub> -Minderung durch<br>Sanierungen | Mio. t   | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,03 | 0,06 | 0,08 | 0,10 |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

Das Städtebauförderungsprogramm „Aktive Stadt- und Ortsteilzentren“ ist 2008 gestartet. Einer der Förderschwerpunkte stellt die Instandsetzung und energetische Modernisierung von Stadtbild prägenden Gebäuden dar. Untersuchungen zu Bündelungs- und Anstoßeffekten bezogen auf die Städtebauförderungsmittel und weitere öffentliche Mittel führen nach BMVBS (2011) für dieses Programm zu der Erkenntnis, dass nach den derzeitigen Auswertungen im Stadtumbauprogrammen der Multiplikator für die Gesamtwirkung der Effekte mit ca. 4,3 deutlich geringer ausfällt. Für die Abschätzung der Emissionswirkungen wurde auf der Basis der Finanzmittel von Bund und Land dieser Faktor unterstellt. Die daraus abgeleiteten Sanierungsinvestitionen wurden entsprechend den Annahmen bei den Stadtumbauprogrammen ermittelt. Demnach können mit den gesamten Sanierungsinvestitionen im Zeitraum 2009 bis 2030 in Höhe von rund 1,7 Mrd. Euro Emissionseinsparungen von 0,1 Mio. t CO<sub>2</sub> erzielt werden (vgl. Tab. 3-14).

- d) Die **soziale Wohnraumförderung** ist ein wichtiges Steuerungsinstrument der Wohnungspolitik und wurde 2001 mit dem Wohnraumförderungsgesetz (WoFG) aus dem bisherigen Förderungssystem des sozialen Wohnungsbaus entwickelt. Im Mittelpunkt der sozialen Wohnraumförderung steht neben Bereitstellung von günstigem Wohnraum auch die qualitative Verbesserung der Wohnungsbestände. 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 der Förderalismusreform im Jahr 2006 wurde die alleinige Verantwortung den Bundesländern übertragen, damit eine bessere Anpassung der Wohnraumförderung an die regional sehr unterschiedlichen Marktsituationen gewährleistet werden kann. Seit dem Jahr 2007 stellt der Bund den Ländern bis 2013 jährlich 518,2 Mio. Euro als Kompensation zur Verfügung. Der gesamte Fördermitteleinsatz von Bund und Ländern betrug nach (BBSR 2011a) in den Jahren 2009 und 2010 rund 1,16 Mrd. und 1,05 Mrd. Euro. Der Anteil der Investitionen in Bestandsmaß-

nahmen lag in diesen Jahren zwischen 27 % und 30 %. Bezogen auf den Förderaufwand sind nach (BBB 2010) davon 30 % in die energetische Sanierung geflossen.

Die Resultate der Analysen von (BBSR 2011) zeigen, dass ohne eine soziale Wohnraumförderung in mindestens bisherigem Umfang im Zeitraum 2014 bis 2019 insbesondere in Wachstumsregionen eine erhebliche Verknappung von bedarfsgerechten Wohnungen für Zielgruppenhaushalte befürchtet wird. Dabei wird vor allem eine weitere Verbesserung der energetischen Modernisierungen der Wohnungsbestände angemahnt.

Die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Einsparungen dieses Instruments erfolgt unter Verwendung der Fortführung der Kompensationsmittel des Bundes in gleicher Höhe nach 2013 und der Länder auf dem Niveau von 2010. Der Anteil der angestoßenen Sanierungsinvestitionen für vollständige energetische Sanierungen an den Bestandsinvestitionen wird mit 30 % angesetzt. Somit könnten insgesamt Emissionseinsparungen von 0,1 Mio. t CO<sub>2</sub> gemäß Tab. 3-15 erreicht werden.

Tab. 3-15: CO<sub>2</sub>-Einsparungen 2009 bis 2030 im Programm Soziale Wohnraumförderung

|  |          | 2009 | 2010  | 2011  | 2015  | 2020  | 2025  | 2030  |
|--|----------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Finanzmittel von Bund und Land               | Mio. EUR | 845  | 1.050 | 1.160 | 1.048 | 1.048 | 1.048 | 1.048 |
| Angestoßene Sanierungsinvestitionen          | Mio. EUR | 106  | 86    | 95    | 86    | 86    | 86    | 86    |
| CO <sub>2</sub> -Minderung durch Sanierungen | Mio. t   | 0,01 | 0,01  | 0,02  | 0,03  | 0,06  | 0,08  | 0,11  |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

- e) Mit dem im Jahr 1999 gestarteten **Marktanreizprogramm (MAP)** wird im Gebäudesektor die Installation von erneuerbaren Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung gefördert. Der Zweck des Programms besteht darin, die breite Markteinführung erneuerbarer Energien zur Wärmebereitstellung zu erleichtern sowie Kostensenkungen und Technikentwicklung anzustoßen. Derzeit werden im Bereich Solarthermie- und Biomasseanlagen bis 100 kW Leistung und Wärmepumpen über das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) sowie Wärmenetze, Biogasleitungen, große Biomasse- und solarthermische Anlagen, große Wärmespeicher, KWK-Biomasseanlagen und Biogasaufbereitungen mit zinsverbilligten Krediten und Zuschüssen über die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) gefördert. Im Jahr 2009 sind für das MAP Fördermittel der BAFA in Höhe von 321 Mio. Euro und von der KfW in Höhe von 96 Mio. Euro zur Verfügung gestellt worden. Demgegenüber sind im Jahr 2010 mit 89 Mio. Euro rund 72 % weniger Fördermittel der BAFA und mit 68 Mio. Euro rund 29 % weniger Fördermittel der KfW abgerufen worden (Langniß et al. 2011). Die ausgelösten Investitionsvolumina des Jahres 2010 sind gegenüber 2009 um rund 70 % bei der BAFA-Förderung und um mehr als 40 % bei der KfW-Förderung kleiner (vgl. Tab. 3-16). Entscheidende Gründe für den deutlichen Rückgang in 2010 werden insbesondere bei der BAFA-Förderung einerseits im vorübergehenden Förderstopp zwischen Mai und Juli 2010 und andererseits in der Aufhebung von bisherigen Förderungen nach der Wiederaufnahme der Förderungen gesehen (Langniß et al. 2011). Die Fortführung der Förderung wird mit einer Mittelausstattung in den Bundeshaushalten 2011 und 2012 in Höhe von 312 Mio. und 250 Mio.

Euro zuzüglich eines Anteils in Höhe von 40 Mio. Euro aus dem Energie- und Klimafonds abgesichert. Für die Abschätzung der Maßnahmenwirkungen nach 2012 wird unterstellt, dass das Fördermittelniveau von 2011 mit insgesamt 352 Mio. bei der Förderung fortgeführt wird.

Tab. 3-16: Investitions- und Fördervolumina für das Marktanreizprogramm Erneuerbare Energien

|                            | 2009     | 2010 | 2015  | 2020  | 2025  | 2030  |
|----------------------------|----------|------|-------|-------|-------|-------|
|                            | Mio. EUR |      |       |       |       |       |
| Investitionsvolumen - BAFA | 2.050    | 600  | 1.765 | 1.765 | 1.765 | 1.765 |
| Investitionsvolumen - KfW  | 432      | 270  | 362   | 362   | 362   | 362   |
| Gesamte Fördermittel       | 418      | 157  | 352   | 352   | 352   | 352   |
| Fördermittel - BAFA        | 321      | 89   | 271   | 271   | 271   | 271   |
| Fördermittel - KfW         | 96       | 68   | 81    | 81    | 81    | 81    |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

*Biomasseanlagen:* Nach (Langniß et al. 2011, Langniß et al. 2010) sind in den Jahren 2008 bis 2010 durch Biomasseanlagen Leistungen von 2,6 GW errichtet worden. Rund 90 % der in diesem Zeitraum installierten Leistung wurde durch die BAFA-Förderung ermöglicht. Im Jahr 2010 ist gegenüber den Vorjahren mit fast 400 MW um nahezu 70% weniger Leistung installiert worden. Ab 2011 wird ein Anstieg der Nachfrage auf das Niveau der Jahre 2008 und 2009 und ein entsprechendes Fördervolumen unterstellt, so dass ein Anstieg der installierten Leistung auf jährlich 1,1 GW erwartet wird. Innerhalb des Förderbereichs werden für die eingesetzten Zentralheizungen im Bestand Vollbenutzungsstunden von 1500 h pro Jahr angesetzt. Die Anlagennutzungsgrade werden mit rund 94 % für Scheitholzvergaserkessel sowie für Pelletkessel in den Rechnungen berücksichtigt. Wird das Teilprogramm mit diesen Parametern von 2012 bis 2030 fortgeführt, so können im gesamten Untersuchungszeitraum von 2009 bis 2030 Emissionseinsparungen von 7,8 Mio. t CO<sub>2</sub> erreicht werden (vgl. Tab. 3-17).

Tab. 3-17: CO<sub>2</sub>-Einsparungen 2009 bis 2030 durch die Förderung von Biomasseanlagen

|                                       |          | 2008  | 2009  | 2010 | 2015  | 2020  | 2025  | 2030  |
|---------------------------------------|----------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| Jährliches Investitionsvolumen        | Mio. EUR | 576   | 632   | 240  | 545   | 545   | 545   | 545   |
| davon KfW                             | Mio. EUR |       | 79    | 51   | 80    | 80    | 80    | 80    |
| davon BAFA                            | Mio. EUR | 576   | 553   | 189  | 465   | 465   | 465   | 465   |
| Fördervolumen                         | Mio. EUR | 93    | 96    | 33   | 90    | 90    | 90    | 90    |
| Installierte Leistung                 | MW       | 1.057 | 1.168 | 398  | 1.100 | 1.100 | 1.100 | 1.100 |
| CO <sub>2</sub> -Minderung            | Mio. t   |       | 0,36  | 0,12 | 0,36  | 0,36  | 0,36  | 0,36  |
| Kumulierte CO <sub>2</sub> -Minderung | Mio. t   |       | 0,36  | 0,48 | 2,30  | 4,11  | 5,92  | 7,73  |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

*Solarthermische Anlagen:* Mehr als 80 % der im Rahmen des MAP geförderten solarthermischen Anlagen sind derzeit Flachkollektoren. Die überwiegenden Verwendungszwecke der solarthermischen Anlagen sind die Raumheizung und Warmwasserbereitung. Die größten installierten Leistungen wurden nach Evaluierungen von (Langniß et al. 2011, Langniß et al. 2010) im Jahr 2008 mit fast 1,1 GW und einer Kollektorfläche

von rund 1,6 Mio. m<sup>2</sup> erzielt. Nachdem für 2010 ein Einbruch bei der installierten Kollektorfläche um nahezu drei Viertel festgestellt wurde, wird ab 2011 für die Abschätzung der Wirkungen ein Anstieg auf das Niveau von 2009 berücksichtigt. Für die Berechnungen werden die mittleren spezifischen solaren Wärmeerträge nach Langniß et al. (2011) unterstellt<sup>14</sup>. Demnach können nach Tab. 3-18 durch solarthermische Anlagen im Zeitraum 2009 bis 2030 CO<sub>2</sub>-Einsparungen von insgesamt 2,44 Mio. t erzielt werden.

Tab. 3-18: CO<sub>2</sub>-Einsparungen 2009 bis 2030 durch die Förderung von Solarthermieanlagen

|                                       |                     | 2008  | 2009  | 2010 | 2015  | 2020  | 2025  | 2030  |
|---------------------------------------|---------------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| Jährliches Investitionsvolumen        | Mio. EUR            | 1.172 | 1.054 | 319  | 900   | 900   | 900   | 900   |
| Fördermittel                          | Mio. EUR            | 200   | 173   | 43   | 165   | 165   | 165   | 165   |
| Installierte Kollektorfläche          | Tsd. m <sup>2</sup> | 1.595 | 1.319 | 402  | 1.400 | 1.400 | 1.400 | 1.400 |
| CO <sub>2</sub> -Minderung            | Mio. t              |       | 0,11  | 0,02 | 0,11  | 0,11  | 0,11  | 0,11  |
| Kumulierte CO <sub>2</sub> -Minderung | Mio. t              |       | 0,11  | 0,14 | 0,78  | 1,33  | 1,89  | 2,44  |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

Wärmepumpen: Seit dem Jahr 2008 können mit dem MAP effiziente Wärmepumpensysteme gefördert werden. Die Förderhöhe ist abhängig vom Wärmepumpensystem, der Art des Gebäudes und der Nutzfläche. Nach dem BAFA-Förderbereich werden Wärmepumpen bis zu einer Leistung von 100 kW im Rahmen einer Basisförderung oder einer Bonusförderung gefördert, wenn eine Kombination von Wärmepumpen- und Solarsystem vorgenommen wird. Unter Berücksichtigung der mindestens zu erreichenden Jahresarbeitszahl je Wärmepumpensystem ist bei der Basisförderung die Förderhöhe abhängig von der Anlagenleistung. Durch den Förderstopp und die Aufhebung der Förderung für Wärmepumpen in Neubauten sind in 2010 deutlich weniger Anlagen errichtet worden. Für den Zeitraum bis 2030 wird erwartet, dass durch vermehrte Installation von Wärmepumpensystemen im Bestand nahezu das Investitionsvolumen von 2009 erreicht wird. Zur Abschätzung der Einsparungen im Bestand werden die derzeit mittleren Wohnflächen für Einfamilien- und Mehrfamilienhäuser berücksichtigt. Die berechneten Emissionseinsparungen berücksichtigen hier keine Mehremissionen durch Stromproduktion. Gemäß den Anforderungen nach BAFA können somit im Zeitraum 2009 bis 2030 Emissionseinsparungen von rund 1 Mio. t CO<sub>2</sub> erzielt werden (Tab. 3-19).

Tab. 3-19: CO<sub>2</sub>-Einsparungen 2009 bis 2030 durch die Förderung von Wärmepumpen

|                                       |  | 2008     | 2009 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|---------------------------------------|--|----------|------|------|------|------|------|------|
|                                       |  | Mio. EUR |      |      |      |      |      |      |
| Jährliches Investitionsvolumen        |  | 551      | 443  | 93   | 400  | 400  | 400  | 400  |
| Fördervolumen                         |  | 77       | 63   | 12   | 50   | 50   | 50   | 50   |
|                                       |  | Mio. t   |      |      |      |      |      |      |
| CO <sub>2</sub> -Minderung            |  |          | 0,05 | 0,01 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| Kumulierte CO <sub>2</sub> -Minderung |  |          | 0,05 | 0,06 | 0,33 | 0,57 | 0,81 | 1,05 |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

<sup>14</sup> Evaluierungszahlen von Langniß, O. et al. 2011: Evaluierung des Marktanreizprogramms für erneuerbare Energien: Ergebnisse der Förderung für das Jahr 2010 - Auszug aus dem Gutachten "Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt für den Zeitraum 2009 bis 2011".

Im Rahmen des Marktanzreizprogramms ist in 2007 die Förderung von Nahwärmenetzen als eigenständiger Fördertatbestand (im Förderbereich der KfW) eingeführt worden. Nach der Evaluierung sind im Jahr 2007 insgesamt 75 Nahwärmenetze in Verbindung mit einer Anlage zur Wärmebereitstellung gefördert worden. Im Jahr 2008 wurde für 243 Nahwärmenetze ein Darlehen zugesagt, davon 118 als eigenständige Förderung. Drei Viertel der eigenständig geförderten Netze bezogen ihre Wärme aus Biogasanlagen.

Nach Analysen von (Langniß et al. 2010, Langniß et al. 2011) wurden in den Jahren 2009 insgesamt 1.207 Wärmenetze mit rund 11.100 Wärmeabnehmern und in 2010 insgesamt 876 Wärmenetze mit ca. 6.675 Wärmeabnehmern gefördert (vgl. Tab. 3-20). Für die Errichtung dieser Wärmenetze hat die KfW Kredite und Zuschüsse in Höhe von 259 Mio. Euro in 2009 und 140 Mio. Euro in 2010 gewährt. Wird die Anzahl der Wärmeabnehmer ab 2011 mit jährlich 10.000 unter den Annahmen der Jahre 2009 und 2010 unter der Bedingung, dass die Wirkungen der Wärmenetze durch Biogas-BHKWs nach Langniß et al. (2011) erschlossen werden, fortgeführt, so können im gesamten Zeitraum 2009 bis 2030 CO<sub>2</sub>-Emissionseinsparungen von rund 2,2 Mio. t erreicht werden (Tab. 3-20).

Tab. 3-20: CO<sub>2</sub>-Einsparungen 2009 bis 2030 durch die Förderung von Wärmenetzen

|                                       | 2009     | 2010  | 2015   | 2020   | 2025   | 2030   |
|---------------------------------------|----------|-------|--------|--------|--------|--------|
|                                       | Mio. EUR |       |        |        |        |        |
| Jährliches Investitionsvolumen        | 275      | 141   | 270    | 270    | 270    | 270    |
| Kreditvolumen / Zuschüsse             | 259      | 140   | 250    | 250    | 250    | 250    |
| Anzahl Wärmeabnehmer                  | 11.100   | 6.675 | 10.000 | 10.000 | 10.000 | 10.000 |
|                                       | Mio. t   |       |        |        |        |        |
| CO <sub>2</sub> -Minderung            | 0,10     | 0,09  | 0,10   | 0,10   | 0,10   | 0,10   |
| Kumulierte CO <sub>2</sub> -Minderung | 0,05     | 0,19  | 0,69   | 1,18   | 1,67   | 2,16   |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

Im Rahmen des Marktanzreizprogramms für erneuerbare Energien können mit den Fördermitteln und Krediten nach Tab. 3-16 im Untersuchungszeitraum 2009 bis 2030 insgesamt Emissionseinsparungen durch neue Biomasseanlagen, Wärmepumpen- und Solar-systeme sowie Wärmenetze von ungefähr 13,4 Mio. t CO<sub>2</sub> erzielt werden.

Im Bereich der informatorischen Maßnahmen wurden für das Aktuelle-Politik-Szenario die folgenden Maßnahmen quantitativ bewertet:

- f) **Energieberatung vor Ort:** 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 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 2009 mit mehr als 31.000 erreicht und lag in 2010 bei 20.000 Beratungen. Im Jahr 2011 werden insgesamt rund 13.500 Beratungen erwartet. Durch eine Zusammenführung der Energieexperten-Listen der BAFA und der Dena wird eine Steigerung der Beratungsqualität und Transparenz erhofft.

Evaluierungen von IFEU, TNS Emnid (2008) zeigen beispielsweise, dass etwa die Hälfte der Beratungsempfanger des Jahres 2005 sich nach der Beratung für den Einbau effizienter Heizungssysteme entscheiden hat und drei Viertel Maßnahmen zur Wärmedämmung an ihrem Gebäude durchgeführt haben. Danach ergeben sich daraus jährliche Energieeinsparungen von etwa 71.300 MWh/Jahr bei den durchgeführt Maßnahmen und zusätzlich etwa 6.400 MWh/Jahr bei den fest geplanten Maßnahmen. Die CO<sub>2</sub>-Minderungen werden für die durchgeführt Maßnahmen mit 27.600 t/Jahr und zusätzlich etwa 2.000 t/Jahr für die geplanten Maßnahmen beziffert.

Die Berechnung der Einsparungen dieses Instruments erfolgt unter Verwendung der Ergebnisse von vorhandenen Evaluierungen und unter der Annahme von 17.500 Beratungen pro Jahr ab 2012. Zur Ermittlung der Nettoeffekte wird unterstellt, dass die energetischen Sanierungen nach den Vorgaben der EnEV erfolgen und 50 % der Vor-Ort-Energieberatungen zugleich eine KfW-Förderung in Anspruch nehmen. Vor diesem Hintergrund können nach Tab. 3-21 durch die Vor-Ort-Beratungen uberschnidungsfreie CO<sub>2</sub>-Minderungen von rund 0,6 Mio. t im Zeitraum 2009 bis 2030 erreicht werden.

Tab. 3-21: Netto-CO<sub>2</sub>-Einsparungen 2009 bis 2030 durch die Energieberatung - vor Ort

|  |          | 2008   | 2009   | 2010   | 2015   | 2020   | 2025   | 2030   |
|--|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Fördervolumen   | Mio. EUR | 9,8    | 6,2    | 4,2    | 5,4    | 5,4    | 5,4    | 5,4    |
| Beratungen   | Anzahl   | 31.800 | 20.000 | 13.500 | 17.500 | 17.500 | 17.500 | 17.500 |
| uberschnidungsfreie CO <sub>2</sub> -Minderung pro Jahr | Mio. t   | 0,08   | 0,04   | 0,02   | 0,03   | 0,03   | 0,03   | 0,03   |
| Kumulierte CO <sub>2</sub> -Minderung                    | Mio. t   | 0,08   | 0,11   | 0,13   | 0,23   | 0,36   | 0,48   | 0,61   |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

Im Bereich des Ordnungsrechts wurden für das Aktuelle-Politik-Szenario die folgenden Maßnahmen spezifisch analysiert:

- g) **Energieeinsparverordnung (EnEV):** Mit der Novellierung der Energieeinsparverordnung (EnEV 2009) wurden zur Erhöhung der Energieeffizienz unter Wahrung der wirtschaftlichen Vertretbarkeit die Anforderungen an den Jahres-Primärenergiebedarf und an die maximal zulässigen U-Werte für Alt- und Neubauten im Mittel 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.

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 Referenzgebaudeverfahren ersetzt. Dabei wird der maximal zulässige Primarenergiebedarfskennwert für das Gebäude individuell anhand eines Referenzgebäudes mit gleicher Geometrie, Ausrichtung und Nutzfläche unter der Annahme standardisierter Bauteile und Anlagentechnik ermittelt.

Einzelne Nachrustpflichten zur Dämmung werden hinsichtlich der Anforderungen an die Dammqualitat erweitert. Die Pflicht zur Dämmung wird u. a. auf begehbbare und bisher ungedämmte oberste Geschossdecken ausgedehnt. Bislang mussten nur

ungedämmte, nicht begehbare, aber zugängliche oberste Geschossdecken mit einer Dämmung ausgestattet werden.

Elektrisch betriebene Speicherheizsysteme dürfen in Wohngebäuden mit mehr als fünf Wohneinheiten nicht mehr betrieben werden, wenn durch sie ausschließlich die Raumwärme erzeugt wird. Ist das Heizsystem vor 1990 eingebaut worden, so ist das System in der Regel bis Ende 2019 außer Betrieb zu nehmen. Bei Einbauten ab 1990 ist das Speicherheizsystem grundsätzlich nach Ablauf von 30 Jahren nicht weiter zu betreiben. Für Nichtwohngebäude gelten dieselben Regeln ab einer Mindestnutzfläche von 500 m<sup>2</sup>.

Zur Verbesserung des Vollzugs der EnEV werden die privaten Nachweispflichten wie beispielsweise Unternehmererklärungen intensiviert. Die Bezirksschornsteinfeger wurden mit der Durchführung von Prüfungen an heizungstechnischen Anlagen beauftragt (z. B. Außerbetriebnahme von Heizkesseln, Wärmedämmung an heizungstechnischen Anlagen).

Die Berechnung der Einsparungen dieses Instruments erfolgt unter Bestimmung der Mehreinsparungen gegenüber den vorherigen Anforderungsniveaus der EnEV 2007. Die energetische Sanierungsrate<sup>15</sup> wird im APS mit 1 % pro Jahr im Untersuchungszeitraum bis 2030 unverändert fortgeführt. In der Tab. 3-22 sind die CO<sub>2</sub>-Emissionseinsparungen getrennt für Neu- und Altbauten ausgewiesen. Im APS werden für die Neubauten im gesamten Untersuchungszeitraum die energetischen Anforderungen der EnEV 2009 unterstellt. Demnach können im Zeitraum 2009 bis 2030 mit der EnEV 2009 gegenüber der vorherigen EnEV 2007 Mehreinsparungen von insgesamt rund 4,5 Mio. t CO<sub>2</sub> erzielt werden. Davon entfallen rund 1,3 Mio. t CO<sub>2</sub> auf den Neubaubereich und 3,2 Mio. t CO<sub>2</sub> auf Emissionseinsparungen im Bestand.

Tab. 3-22: CO<sub>2</sub>-Mehreinsparungen 2009 bis 2030 durch die EnEV 2009

|   |        | 2009 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|---|--------|------|------|------|------|------|------|
| <b>Neubau</b>   |        |      |      |      |      |      |      |
| CO <sub>2</sub> -Emissionen im Neubau                         | Mio. t | 0,24 | 0,17 | 0,19 | 0,20 | 0,21 | 0,20 |
| CO <sub>2</sub> -Minderung im Neubau mit EnEV 2009            | Mio. t | 0,00 | 0,05 | 0,29 | 0,44 | 0,54 | 0,65 |
| Kumulierte CO <sub>2</sub> -Einsparungen mit EnEV 2009        | Mio. t | 0,00 | 0,05 | 0,34 | 0,64 | 0,95 | 1,26 |
| <b>Altbau</b>   |        |      |      |      |      |      |      |
| CO <sub>2</sub> -Emissionen im Altbau                         | Mio. t | 0,49 | 0,34 | 0,35 | 0,36 | 0,36 | 0,37 |
| CO <sub>2</sub> -Minderung im Altbau mit EnEV 2009            | Mio. t | 0,00 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,16 | 0,16 |
| Kumulierte CO <sub>2</sub> -Minderung                         | Mio. t | 0,00 | 0,15 | 0,89 | 1,65 | 2,42 | 3,21 |
| <b>Kumulierte CO<sub>2</sub>-Minderung in Alt- und Neubau</b> | Mio. t | 0,00 | 0,20 | 1,23 | 2,29 | 3,37 | 4,47 |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

- h) Mit dem **Erneuerbaren-Energien-Wärmegesetz** (EEWärmeG) 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 sind Eigentümer von

<sup>15</sup> Die jährliche energetische Sanierungsrate bezieht sich auf die bis einschließlich 1994 errichtete Wohnfläche. Der Prozentwert pro Jahr gibt an, welche Wohnfläche jährlich **in Summe (unter Berücksichtigung von energetischen Teilsanierungen)** einer vollständigen energetischen Sanierung entsprechend der Vorgaben der jeweils gültigen EnEV-Fassung unterzogen wird.

neu errichteten Gebäuden ab 2009 verpflichtet, den Wärmeenergiebedarf durch die anteilige Nutzung von Erneuerbaren Energien oder durch die im Gesetz vorgesehenen Ausgleichsmaßnahmen zu decken. Die Berechnung der Einsparungen dieses Instruments erfolgt unter Verwendung der Neubauwohnflächen bis 2030. Die Wirkungen des Marktanreizprogramms werden gesondert berechnet. Für die Abschätzung der Emissionseinsparungen wird eine Umsetzung der neugefassten EU-Gebäuderichtlinie in nationales Recht angenommen, so dass alle Neubauten ab dem Jahr 2021 nur noch einen sehr geringfügigen Energieverbrauch aufweisen. Insgesamt können somit in Anlehnung an Nast et al. (2010) durch dieses Instrument im Zeitraum 2009 bis 2030 zusätzliche Emissionseinsparungen bei Neubauten von ca. 0,5 Mio. t CO<sub>2</sub> erreicht werden.

Tab. 3-23: CO<sub>2</sub>-Einsparungen 2009 bis 2030 durch das EEWärmeG

|  | 2009   | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|--|--------|------|------|------|------|------|
|  | Mio. t |      |      |      |      |      |
| CO <sub>2</sub> -Emissionen im Neubau        | 0,17   | 0,12 | 0,09 | 0,07 | 0,05 | 0,05 |
| CO <sub>2</sub> -Einsparungen durch EEWärmeG | 0,05   | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,01 |
| <b>Summe der Einsparungen</b>                | 0,05   | 0,09 | 0,24 | 0,34 | 0,41 | 0,49 |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

- i) Die novellierte Fassung der **Verordnung über Heizkostenabrechnung** ist 2009 in Kraft getreten und erhöht den verbrauchsabhängigen Anteil. Nach dieser Fassung der Verordnung sind in Gebäuden, die das Anforderungsniveau der Wärmeschutzverordnung vom 16. August 1994 nicht erfüllen und mit einer heizöl- oder gasbasierten Heizung versorgt werden, von den Kosten des Betriebs der zentralen Heizungsanlage generell 70 % nach dem erfassten Wärmeverbrauch der Nutzer zu verteilen. Diese Vorgabe der Verordnung gilt für Gebäude in denen die freiliegenden Leitungen der Wärmeverteilung überwiegend gedämmt sind. Hierdurch sollen Anreize zu sparsamerem Verhalten der Nutzer verstärkt werden. Ferner soll mit einer Ausnahme von der Anwendung der Verbrauchserfassungspflicht für sog. Passivhäuser ein Anreiz zur Erreichung dieses Standards bei der Errichtung des Gebäudes bzw. bei der Sanierung von Mehrfamilienhäusern gesetzt werden. Zur Abschätzung der Wirkungen dieses Instruments wird in Anlehnung an (Oschatz et al. 2009) das Einsparpotenzial durch die Reduzierung der Rauminnentemperatur von 20 °C auf 19 °C ermittelt. Ausgelöst durch die novellierte Heizkostenverordnung wird das Potenzial zur Energieeinsparung durch sparsames Nutzerverhalten analysiert. Dabei wird die Differenz des Nutzertyps Standard mit einer Soll-Innentemperatur von 20 °C und des Nutzertyps Sparer mit einer Soll-Innentemperatur von 19 °C untersucht. Die mittlere Energieeinsparung unter Berücksichtigung der EnEV 2009 wird bei einer Nutzungsänderung aller Bewohner eines mittleren Mietshauses (Wohnfläche von insgesamt 900 m<sup>2</sup> pro Mehrfamilienhaus) mit 13,7 kWh/(m<sup>2</sup>a) unterstellt. Insgesamt könnten beginnend ab 2012 zusätzlich rund 0,4 Mio. t CO<sub>2</sub> bis 2030 eingespart werden.

Tab. 3-24: CO<sub>2</sub>-Einsparungen 2009 bis 2030 durch die novellierte Fassung der Verordnung über Heizkostenabrechnung

|   | 2011   | 2012 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|---|--------|------|------|------|------|------|
|   | Mio. t |      |      |      |      |      |
| Jährl. CO <sub>2</sub> -Emissionseinsparungen | 0,00   | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Kumulierte CO <sub>2</sub> -Minderung         | 0,00   | 0,02 | 0,09 | 0,20 | 0,31 | 0,42 |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

### Flankierende Instrumente

Instrumente, die im Rahmen der Modellierung derzeit noch nicht berücksichtigt werden können, sind die Aktivitäten der Dena, die BMU-Klimaschutzinitiative sowie Information und Motivation, Weiterbildungs- und Qualitätsoffensiven, F&E im Gebäude- und Heizungsbereich sowie die Klimaschutzkampagne des BMU.

### Energiewende-Szenario

Für das Energiewende-Szenario (EWS) wurden im Bereich des Ordnungsrechts folgende Veränderungen analysiert:

- a) **Novellierungen der EnEV 2009 für Neubauten:** Nach der Neufassung der europäischen Gebäuderichtlinie (RL 2010/31/EU) sind gemäß Artikel 9 ab dem Jahr 2021 alle Neubauten in den EU-Mitgliedsstaaten als Niedrigstenergiegebäude zu errichten. Dabei werden nach der EU-Richtlinie Gebäude als Niedrigstenergiegebäude bzw. Fast-Nullenergiegebäude bezeichnet, die eine hohe Gesamtenergieeffizienz aufweisen und nur noch über einen geringfügigen Energiebedarf verfügen. Dieser sollte vorwiegend mit erneuerbaren Energien, die möglichst vor Ort erzeugt wird, gedeckt werden. Zudem wird eine Erweiterung der Aushangpflicht für Energieausweise gefordert. Eine Umsetzung der Richtlinie in nationales Recht ist bis zum 9. Juli 2012 mit Inkrafttreten spätestens ab 9. Januar 2013 zu gewährleisten.

*Umsetzung für Neubauten in Deutschland:* Mit der derzeitigen EnEV 2009 wurden die primärenergetischen Anforderungen für Neubauten um rund 30 % gegenüber der vorherigen EnEV 2007 verschärft. Der Jahresprimärenergiebedarf für Neubauten sinkt damit für Wohngebäude im Mittel auf maximal 70 kWh/(m<sup>2</sup>a). Die weitere Absenkung des Jahresprimärenergiebedarfs auf das Niveau eines Niedrigstenergiegebäudes mit rund 30 kWh/(m<sup>2</sup>a) ist noch offen. Nach dem Energiekonzept der Bundesregierung (BMWi, BMU 2010) und den Eckpunkten zur Energiewende (BR 2011a) soll der ordnungsrechtliche Rahmen mit der EnEV 2012 unter Berücksichtigung des Wirtschaftlichkeitsgebots des Energieeinsparungsgesetzes eingeleitet werden. Der vorliegende Referentenentwurf zur Novellierung der EnEV sieht vor, dass der Jahresprimärenergiebedarf von Neubauten gegenüber der bestehenden EnEV zunächst um 12,5% und ab 2016 um 25% weiter verschärft werden soll. Das angestrebte klimaneutrale Gebäude soll dabei dem Niedrigstenergiegebäude der beschlossenen EU-Gebäuderichtlinie nahezu gleich kommen. Im Rahmen der EnEV 2012 soll die energetische Bewertung von Gebäuden auf der Basis der neuen Ausgabe der DIN V 18599 erfolgen. Dabei soll alternativ ein vereinfachtes Berechnungsverfahren für Neubauten ermöglicht werden.

Im EWS-Szenario wird zum Erreichen des klimaneutralen Gebäudestandards unterstellt, dass ausgehend von der EnEV 2009 der Jahresprimärenergiebedarf mit der Novelle EnEV 2012 auf maximal 50 kWh/(m<sup>2</sup>a) ab 2013 begrenzt wird. In einer weiteren Novelle wird der maximale Jahresprimärenergiebedarf ab 2016 auf 40 kWh/(m<sup>2</sup>a) und schließlich ab 2021 auf maximal 30 kWh/(m<sup>2</sup>a) verringert.

Entsprechend den Neubauwohnflächen aus Tab. 3-1 und der dynamischen Fortschreibung der Heizungsstruktur können durch die zusätzlichen Verschärfungen der EnEV 2009 für Neubauten im Zeitraum bis 2030 zusätzliche Emissionseinsparungen von rund 2 Mio. t CO<sub>2</sub> erzielt werden (vgl. Tab. 3-25).

Tab. 3-25: CO<sub>2</sub>-Einsparungen 2009 bis 2030 durch Novellierungen der EnEV 2009 für Neubauten

|  | 2010   | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|--|--------|------|------|------|------|
|  | Mio. t |      |      |      |      |
| <b>Mehreinsparungen gegenüber EnEV 2002</b>          |        |      |      |      |      |
| Kumulierte CO <sub>2</sub> -Minderung mit EnEV 2009  | 0,05   | 0,29 | 0,44 | 0,54 | 0,65 |
| <b>Mehreinsparungen gegenüber EnEV 2009</b>          |        |      |      |      |      |
| Zusätzliche CO <sub>2</sub> -Minderung mit EnEV 2012 | 0,00   | 0,17 | 0,47 | 0,78 | 1,09 |
| Zusätzliche CO <sub>2</sub> -Minderung mit EnEV 2015 | 0,00   | 0,00 | 0,21 | 0,43 | 0,64 |
| Zusätzliche CO <sub>2</sub> -Minderung mit EnEV 2020 | 0,00   | 0,00 | 0,00 | 0,15 | 0,30 |
| Zusätzliche CO <sub>2</sub> -Gesamteinsparung        | 0,00   | 0,17 | 0,68 | 1,36 | 2,04 |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

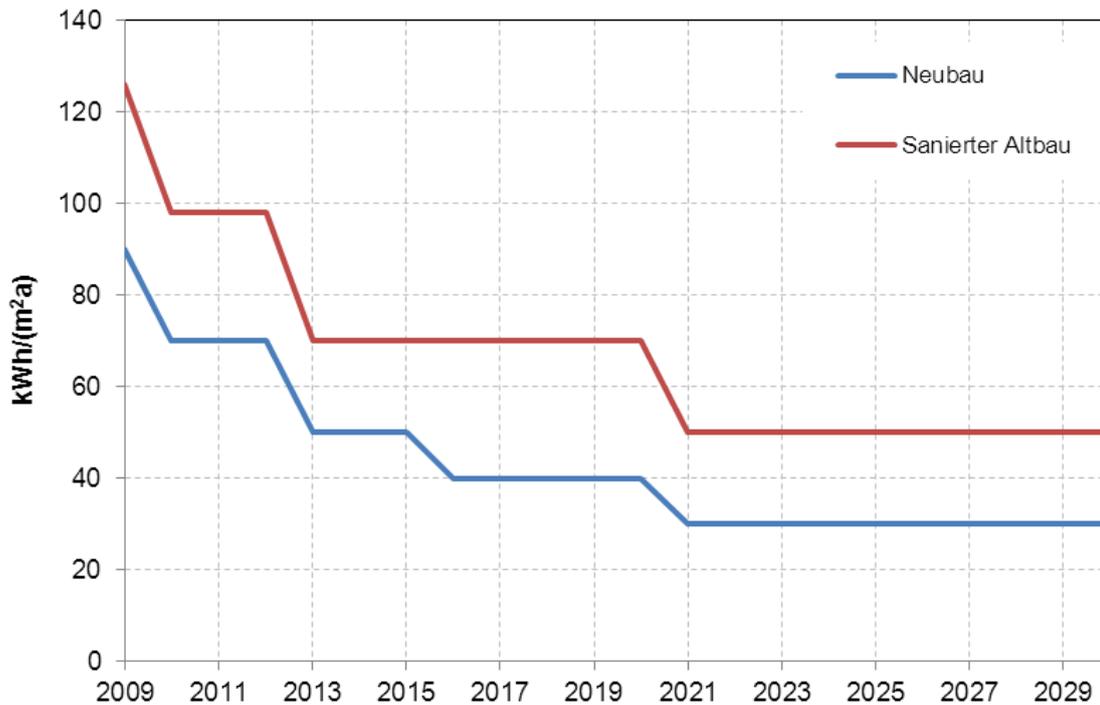
- b) **Novellierungen der EnEV 2009 für Altbauten:** Die neugefasste EU-Gebäuderichtlinie schreibt für den Bestand vor, dass energetische Mindeststandards bei größeren Sanierungen einzuhalten sind. Artikel 7 der Richtlinie fordert, dass „die Mitgliedstaaten die erforderlichen Maßnahmen [ergreifen], um sicherzustellen, dass die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, die einer größeren Renovierung unterzogen werden, oder der renovierten Gebäudeteile erhöht wird, um die [...] festgelegten Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz zu erfüllen, sofern dies technisch, funktionell und wirtschaftlich realisierbar ist“ (RL 2010/31/EU).

Umsetzung für Altbauten in Deutschland: Mit der Novellierung der EnEV 2009 soll mit der EnEV 2012 gemäß dem Energiekonzept der Bundesregierung (BMW, BMU 2010) der Pfad zur Erreichung eines klimaneutralen Gebäudebestands bis zum Jahr 2050 eingeführt werden. Entsprechend den Vorgaben für Neubauten soll beginnend ab 2020 ein Sanierungsfahrplan mit der Vorgabe von primärenergetischen Kennwerten stufenweise auf das angestrebte Zielniveau einer Minderung des Primärenergiebedarfs um 80 % gegenüber 1990 installiert werden. In Abhängigkeit des geltenden Wirtschaftlichkeitsgebots soll der geforderte Mindeststandard im Bestand für das Ausgangsjahr 2020 moderat gewählt werden. Angestrebt ist, zunächst die energetisch schlechtesten Gebäude zu sanieren. Dabei soll den Eigentümern freigestellt bleiben, ob sie durch wärmetechnische, anlagentechnische Sanierungen oder Maßnahmen mit verstärktem Einsatz von erneuerbaren Energien die Reduzierung des Energiebedarfs erzielen.

Im EWS-Szenario wird zum Erreichen des klimaneutralen Gebäudebestands unterstellt, dass mit der Novelle der EnEV 2012 ab 2013 der Jahresprimärenergiebedarf von sanierten Bestandsgebäuden maximal 40 % über dem Neubau-Niveau von 50 kWh/(m<sup>2</sup>a) liegt.

In einer weiteren Novelle wird der maximale Jahresprimärenergiebedarf ab 2021 für sanierte Bestandsgebäude auf maximal 50 kWh/(m<sup>2</sup>a) verringert. Die Entwicklung des maximalen Jahresprimärenergiebedarfs für Neubauten und sanierte Bestandsgebäude ist in der Abb. 3-1 dargestellt.

Abb. 3-1: Entwicklungen des maximalen Jahresprimärenergiebedarfs im EWS



Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

Die Berechnung der Einsparungen dieses Instruments erfolgt unter Bestimmung der zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Minderungen gegenüber den vorherigen Anforderungsniveaus der EnEV 2009 bei unveränderter Fortführung der energetischen Sanierungsrate im Untersuchungszeitraum bis 2030 von jährlich 1 %. Hierzu sind in der Tab. 3-26 die CO<sub>2</sub>-Emissionseinsparungen getrennt für die möglichen Novellierungen ausgewiesen. Demnach können im Zeitraum 2009 bis 2030 mit den novellierten EnEV-Fassungen gegenüber der vorherigen EnEV 2009 zusätzliche Mehreinsparungen durch sanierte Bestandsgebäude von insgesamt rund 2,7 Mio. t CO<sub>2</sub> erzielt werden.

Tab. 3-26: CO<sub>2</sub>-Einsparungen 2009 bis 2030 durch Novellierungen der EnEV 2009 für Altbauten

|  | 2010   | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|--|--------|------|------|------|------|
|  | Mio. t |      |      |      |      |
| <b>Mehreinsparungen gegenüber EnEV 2002</b>          |        |      |      |      |      |
| Kumulierte CO <sub>2</sub> -Minderung mit EnEV 2009  | 0,15   | 0,89 | 1,65 | 2,42 | 3,21 |
| <b>Mehreinsparungen gegenüber EnEV 2009</b>          |        |      |      |      |      |
| Zusätzliche CO <sub>2</sub> -Minderung mit EnEV 2012 | 0,00   | 0,31 | 0,84 | 1,39 | 1,94 |
| Zusätzliche CO <sub>2</sub> -Minderung mit EnEV 2020 | 0,00   | 0,00 | 0,00 | 0,38 | 0,76 |
| Zusätzliche CO <sub>2</sub> -Gesamteinsparung        | 0,00   | 0,31 | 0,84 | 1,77 | 2,70 |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

- c) **Stärkung des Vollzugs der EnEV:** Wird im EWS anstelle der Verschärfungen der EnEV eine Steigerung des Vollzugs der EnEV vorgenommen, so steigt die Effizienz der Sanierungen<sup>16</sup> und folglich die energetische Sanierungsrate an. Gemäß § 26a EnEV zu „Private[n] Nachweise“ 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 erleichtert und 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.

Für die Abschätzung der Einsparungen wird unterstellt, dass durch die Stärkung des Vollzugs der EnEV die Effizienz der Sanierungen bei gleichbleibender Anzahl der jährlich durchzuführenden Sanierungen bis 2020 verdoppelt werden kann. Unter diesen Annahmen kann die energetische Sanierungsrate von 1 % pro Jahr auf jährlich 2 % pro Jahr ab 2020 erhöht werden (vgl. Tab. 3-27). Die erzielbaren Emissionseinsparungen belaufen sich im Zeitraum bis 2030 auf insgesamt 16,4 Mio. t CO<sub>2</sub>.

Tab. 3-27: CO<sub>2</sub>-Einsparungen 2009 bis 2030 durch die Stärkung des Vollzugs der EnEV

|                                       |        | 2011 | 2015 | 2020 | 2025  | 2030  |
|---------------------------------------|--------|------|------|------|-------|-------|
| Energetische Sanierungsrate           | %      | 1,0  | 1,4  | 2,0  | 2,0   | 2,0   |
| CO <sub>2</sub> -Minderung            | Mio. t |      | 0,40 | 0,88 | 1,19  | 1,22  |
| Kumulierte CO <sub>2</sub> -Minderung | Mio. t |      | 0,98 | 4,45 | 10,31 | 16,35 |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

**Steigerung der Nachrüstverpflichtungen in der EnEV:** Am Ende des Jahres 2009 war der aktuelle Heizkesselbestand der privaten Haushalte, der insgesamt rund 23,3 Mio. Kessel umfasst, dominiert durch 11,1 Mio. Gaskessel. Insgesamt waren bis Ende 2009 rund 3,4 Mio. Gasbrennwertkessel in Wohngebäuden installiert. Zugleich ist festzustellen, dass mehr als 70 % des Kesselbestands des Jahres 2009 unter Berücksichtigung eines mittleren Erneuerungszyklus von 25 Jahren als veraltet und sanierungsbedürftig einzustufen ist. Folglich kann durch eine verstärkte Erneuerung der Heizkessel bzw. der Heizungssysteme im Bestand ein erhebliches Energieeinsparpotenzial gehoben werden. 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 2010). Mehr als 20 Jahre alte Heizungsanlagen sind nach angemessener Frist außer Betrieb zu nehmen, sofern sie keine Brennwertkessel sind. Um eine hohe Gesamteffizienz der neu-

<sup>16</sup> Die energetische Sanierungsrate setzt sich multiplikativ aus der tatsächlichen Sanierungsrate (Quantität) und der Effizienz der Sanierungen (Qualität) zusammen

en Heizungsanlage mit Brennwertkessel zu gewährleisten ist der gleichzeitige Wechsel zu einer hocheffizienten Umwälzpumpe vorzuschreiben. Der Anlagenerrichter verpflichtet sich, eine brennwertkonforme hydraulische Schaltung auszuwählen und den durchgeführten hydraulischen Abgleich zu dokumentieren.

Für die Abschätzung der Wirkungen dieses Instruments wird unterstellt, dass mit der Novelle EnEV 2013 eine Nachrüstverpflichtung zur Erneuerung der Heizungssysteme, die 20 Jahre und älter sind, eingeführt wird. Die Erneuerung erfolgt durch Brennwertkessel mit Verwendung einer Solaranlage. Die hierdurch erzielbare Einsparung beläuft sich kumuliert bis 2030 auf rund 7,5 Mio. t CO<sub>2</sub>. Die zusätzliche und überschneidungsfreie CO<sub>2</sub>-Minderung unter Abzug des Wärme-Contractings und der Durchführungsmaßnahme zum Verbot von Niedertemperaturkesseln im Rahmen der Ökodesignrichtlinie beläuft sich bis 2030 auf ca. 2,5 Mio. tCO<sub>2</sub> (Tab. 3-28).

Tab. 3-28: CO<sub>2</sub>-Einsparungen 2009 bis 2030 durch die Steigerung der Nachrüstverpflichtungen

|   |        | 2011 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|---|--------|------|------|------|------|------|
| Max. Alter für Heizkessel                         | a      |      | 20   | 20   | 20   | 20   |
| CO <sub>2</sub> -Minderung                        | Mio. t |      | 0,31 | 0,44 | 0,45 | 0,42 |
| Kumulierte CO <sub>2</sub> -Minderung             | Mio. t |      | 0,93 | 3,13 | 5,39 | 7,49 |
| Überschneidungen mit                              |        |      |      |      |      |      |
| Wärme-Contracting                                 | Mio. t |      | 0,25 | 0,75 | 1,23 | 1,66 |
| Ökodesignrichtlinie -Dfm. Heizungssysteme         | Mio. t |      | 0,19 | 1,29 | 2,35 | 3,31 |
| Netto-Einsparungen (überschneidungsfrei)          |        |      |      |      |      |      |
| Zusätzliche CO <sub>2</sub> -Minderung            | Mio. t |      | 0,17 | 0,14 | 0,15 | 0,14 |
| Zusätzliche kumulierte CO <sub>2</sub> -Minderung | Mio. t |      | 0,49 | 1,09 | 1,81 | 2,52 |

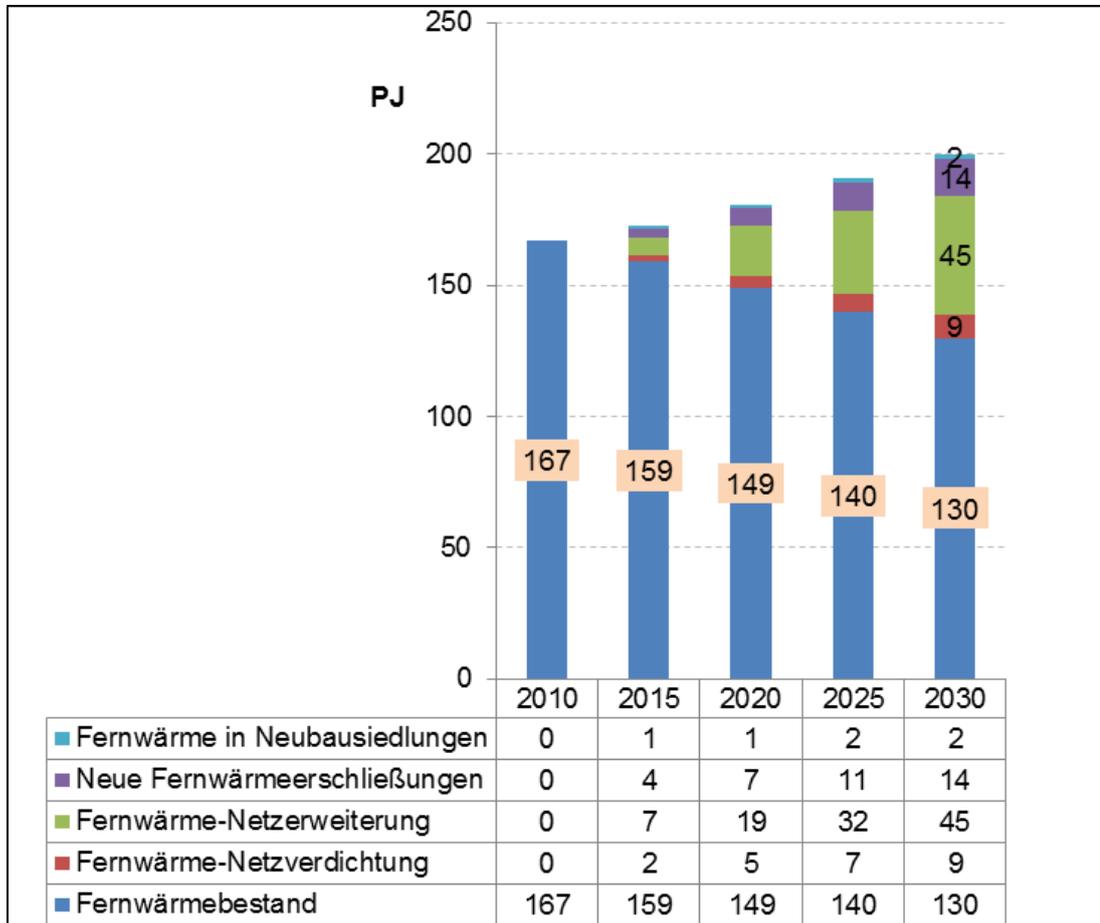
Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

- d) **Vermehrte Anordnung 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 einen Anschluss- und Benutzungszwang an ein Netz der öffentlichen Nah- und Fernwärmeversorgung zum Zwecke des Klima- und Ressourcenschutzes festlegen. Hier sollen die Potenziale einer vermehrten Anordnung eines Fernwärmeanschlusszwangs durch Kommunen erörtert werden.

Das bestehende Fernwärmenetz des Jahres 2010 weist nach (AGFW 2011) eine Trassenlänge von rund 19.400 km aus. Analysen zum Fernwärmepotenzial kommen zu der Erkenntnis, dass der Schwerpunkt des Ausbaus in den Bereichen der Netzverdichtung und -erweiterung sowie der Erschließung neuer Gemeinden liegt. Der Ausbau in Neubausiedlungen besitzt aufgrund des verminderten Wärmeabsatzes eine untergeordnete Rolle (Blesl 2010). In Anlehnung an diese Untersuchungen ist in Abb. 3-2 die Entwicklung des Fernwärmeverbrauchs für das EWS bis 2030 unter Berücksichtigung einer vermehrten Anordnung eines Fernwärmeanschluss- und Benutzungszwangs dargestellt. Dabei wird unterstellt, dass der Verbrauch im Bestand von 2010 mit 167 PJ bis 2030 auf 130 PJ absinkt. Bezüglich des Ausbaus wird ein weiterer Anstieg der Fernwärmeversor-

gung um 70 PJ auf insgesamt 200 PJ bis 2030 angenommen. Trotz Energieeinsparungen durch energetische Sanierungen findet somit ein Ausbau der Nah- und Fernwärme statt.

Abb. 3-2: Entwicklung des Fernwärmeverbrauchs im EWS bis 2030



Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

Folgt man für die Abschätzung der Wirkungen einer vermehrten Anordnung eines Fernwärmeanschluss- und Benutzungszwangs den Annahmen zum Ausbau des Fernwärmenetzes, so könnte mit diesem Instrument im Untersuchungszeitraum bis 2030 eine Steigerung der Trassenlänge des Netzes für die Fernwärmeversorgung der Haushalte auf insgesamt 29.500 km und ein Emissionseinsparpotenzial von brutto rund 4,7 Mio. t CO<sub>2</sub> erreicht werden.

Tab. 3-29: CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial 2009 bis 2030 durch die vermehrte Anordnung eines Fernwärmeanschluss- und Benutzungszwangs

|                                       |         | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|---------------------------------------|---------|------|------|------|------|------|
| Trassenlänge des Fernwärmenetzes      | Tsd. km | 19,5 | 22,0 | 24,5 | 27,0 | 29,5 |
| CO <sub>2</sub> -Minderung            | Mio. t  |      | 0,24 | 0,25 | 0,25 | 0,25 |
| Kumulierte CO <sub>2</sub> -Minderung | Mio. t  |      | 0,97 | 2,20 | 3,44 | 4,68 |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

e) **Novellierung des EE-Wärmegesetzes:**

Ausweitung des Gesetzes 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 werden soll. Die Erreichung des 14%-Ausbauziels kann durch den Neubaubereich alleine nicht realisiert werden. Da der Gebäudebestand den gewichtigeren Bereich darstellt, wird zur Abschätzung der Wirkungen unterstellt, dass ab 2013 parallel zur geplanten Novellierung der EnEV die gesetzliche Verpflichtung zur Anwendung erneuerbarer Energien in Bestandsgebäuden bei energetischen Sanierungsmaßnahmen wie im derzeit geltenden Gesetz eingeführt wird. Die Erweiterung auf den Gebäudebestand kann vorab durch die Anreizwirkungen der öffentlichen Förderung vorbereitet werden. Im Modell wird bei den energetischen Sanierungsmaßnahmen der Anteil des Wärmebedarfs, der durch erneuerbare Energien zu decken ist, mit 20 % in den Berechnungen festgelegt.

Zudem wird mit der kommenden Novellierung der EnEV ab 2013 eine Verbesserung der Bedingungen für die Einspeisung von aufbereitetem Biogas im EEWärmeG vorgenommen. Nach dem Energiekonzept der Bundesregierung (BMW, BMU 2010) soll der Rahmen für Biogasnutzung im EEWärmeG verbessert werden. So wird hier von einer erhöhten Biogaseinspeisung (aufbereitetes Biogas) in Kombination mit effizienten Brenntechniken (Biogas-Brennwerttechnik bei modernen Heizkesseln) ausgegangen. Unter diesen Annahmen könnten durch dieses Instrument zusätzlich rund 2,9 Mio. t CO<sub>2</sub> eingespart werden.

Tab. 3-30: CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial 2009 bis 2030 durch Novellierung des EEWärmeG

|  |        | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|--|--------|------|------|------|------|
| Zusätzliche jährliche Einsparungen           | Mio. t | 0,13 | 0,19 | 0,20 | 0,11 |
| CO <sub>2</sub> -Einsparungen durch EEWärmeG | Mio. t | 0,40 | 1,34 | 2,32 | 2,87 |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

- f) Zur Hebung des Einsparpotenzials in Mehrfamiliengebäuden wäre eine **Vereinfachung der Sanierungen im Mietwohnungsmarkt** denkbar. Durch das Entfallen der Duldungspflicht des Mieters bei EnEV-Verstößen könnte die Durchführung energetischer Sanierungen möglicherweise gesteigert werden. Nach bisheriger Rechtslage ist der Mieter unter Umständen verpflichtet, Modernisierungsmaßnahmen zu dulden, selbst wenn die Maßnahmen nicht den Anforderungen der EnEV entsprechen. Die Duldungspflichten des Mieters könnten aber ausdrücklich an die Einhaltung der energiesparrechtlichen Anforderungen geknüpft werden. Dies hätte zum einen den Vorteil, dass derartige Maßnahmen, die einen schlechten energetischen Zustand oft für lange Zeiträume zementieren, unterbleiben. Darüber hinaus würde durch eine derartige Verknüpfung von Energieeinspar- und Mietrecht ein wirksamerer Vollzug der energieeinsparrechtlichen Anforderungen erreicht, ohne dass die Bundesländer hier tätig werden müssten und ohne dass zusätzliche Kosten anfallen würden. Bereits die bloße rechtliche Möglichkeit

der Nichtduldung und das damit erhöhte Risiko des Vermieters bei Nichtbefolgung der EnEV-Anforderungen sollte zu einer verbesserten Einhaltung der EnEV führen.

Eine weitere Möglichkeit zur Vereinfachung von Sanierungen im Mietwohnungsmarkt würde darin bestehen, Mietminderungs- und Heizkostenkürzungsrechte einzuführen. Auf der Grundlage dieses Instruments soll im Mietwohnungsbau die Einhaltung der EnEV unterstützt werden. 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 sind bei der Nichteinhaltung der EnEV die rechtlichen Bedingungen für Mietminderungs- und Heizkostenkürzungsrechte zu schaffen.

Zudem wäre zu überlegen, die rechtlichen Grundlagen für eine energetische Vergleichsmiete oder einen ökologischen Mietspiegel zu schaffen. Im BGB sollte die Berücksichtigung der energetischen Beschaffenheit von Wohnungen bei der Festlegung der ortsüblichen Vergleichsmiete verpflichtend festgelegt werden (energetische Vergleichsmiete). Derzeit spielt die energetische Beschaffenheit i. d. R. bei der Bildung der ortsüblichen Vergleichsmiete und bei der Erstellung von Mietspiegeln nur eine untergeordnete Rolle. Die hinreichende Berücksichtigung der wärmetechnischen Beschaffenheit eines Gebäudes bei der Bestimmung der ortsüblichen Vergleichsmiete erhöht dagegen die Markttransparenz und steigert die Rentabilität von Energieeinsparinvestitionen. So können durch einen neu ins BGB einzufügenden § 558 Abs. 2a die rechtlichen Voraussetzungen für die flächendeckende Berücksichtigung energetischer Beschaffenheitsmerkmale im Rahmen der ortsüblichen Vergleichsmiete geschaffen werden. Hierdurch würden gleichsam automatisch auch „ökologische“ Mietspiegel entstehen.

Alternativ könnte ein Pauschalzuschlag zur Miete nach energetischen Verbesserungen gewährt werden. Dieser Pauschalzuschlag sieht vor, an Stelle der 11-%igen Umlagemöglichkeit der Modernisierungskosten auf die Miete (§ 559 BGB) eine Möglichkeit zur Erhebung eines „Pauschalzuschlags zur energetischen Verbesserung“ für den Vermieter zu schaffen. So wäre die Planungssicherheit für den Vermieter deutlich verbessert, da die Höhe der Sanierungsinvestitionen nicht im Einzelfall dem Mieter gegenüber nachzuweisen wären. Das BGB soll den Zuschlag an den Nachweis koppeln, dass die energetischen Anforderungen der EnEV (über-) erfüllt sind und die Mieterhöhung innerhalb eines angemessenen Zeitraums durch die sinkenden Verbrauchskosten wieder ausgeglichen wird.

Insgesamt würden diese Maßnahmen, die parallel zur EnEV-Novellierung EnEV 2013 eingeführt werden könnten, zur Erhöhung der energetischen Sanierungen bei Mehrfamiliengebäuden beitragen. Dabei wird angenommen, dass sowohl die Anzahl der Sanierungen als auch die Effizienz der Sanierungen zunehmen. Konkret wird für die Abschätzung des Einsparpotenzials im Mietwohnungsmarkt beginnend ab 2013 bis 2020 (und einem konstanten Niveau nach 2020) eine Verdopplung der energetischen Sanierungsrate und eine Verringerung des mittleren Erneuerungszyklus von Heizungssystemen um 5 Jahre unterstellt. Unter diesen Voraussetzungen könnte nach Tab. 3-31 ein Emissions-

einsparpotenzial von 14,4 Mio. t CO<sub>2</sub> bis 2030 erzielt werden. Allerdings ist diese Maßnahme nicht überschneidungsfrei, so dass dieses Einsparpotenzial um die Einsparungen durch die Steigerung der Nachrüstverpflichtungen und der Stärkung des Vollzugs der EnEV anteilig zu vermindern ist. Insgesamt ist folglich eine Netto-Einsparung von 6,2 Mio. t CO<sub>2</sub> im Untersuchungszeitraum möglich.

Tab. 3-31: CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial durch Vereinfachungen von Sanierungen im Mietwohnungsmarkt

|   |        | 2011 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030  |
|---|--------|------|------|------|------|-------|
| CO <sub>2</sub> -Minderung                        | Mio. t |      | 0,57 | 0,82 | 0,93 | 0,90  |
| Kumulierte CO <sub>2</sub> -Minderung             | Mio. t |      | 1,57 | 5,20 | 9,86 | 14,43 |
| Überschneidungen mit                              |        |      |      |      |      |       |
| Stärkung des Vollzugs der EnEV                    | Mio. t |      | 0,43 | 1,95 | 4,53 | 7,18  |
| Steigerung der Nachrüstverpflichtungen            | Mio. t |      | 0,21 | 0,48 | 0,79 | 1,11  |
| Netto-Einsparungen (überschneidungsfrei)          |        |      |      |      |      |       |
| Zusätzliche CO <sub>2</sub> -Minderung            | Mio. t |      | 0,31 | 0,37 | 0,36 | 0,32  |
| Zusätzliche kumulierte CO <sub>2</sub> -Minderung | Mio. t |      | 0,92 | 2,77 | 4,54 | 6,15  |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

- g) **Ökodesign-Richtlinie:** Die neugefasste Richtlinie 2009/125/EG zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte zielt auf die Minderung der Umweltauswirkungen energieverbrauchsrelevanter Produkte ab. Dies erfolgt durch die Formulierung von einzelnen Anforderungen in Durchführungsmaßnahmen sowie von Vorschriften zur Kontrolle, Dokumentation und Produktinformation. Die Verringerung des Energieverbrauches und der Emission von Treibhausgasen durch Produktion, Betrieb und Entsorgung energieverbrauchsrelevanter Produkte sind dabei ein Schwerpunkt. Die geforderten Mindesteffizienzstandards der Produkte werden dabei nicht durch die Richtlinie selbst, sondern durch die auf ihrer Grundlage erlassenen Durchführungsmaßnahmen etabliert, meist als EU-Verordnungen, die keiner weiteren Umsetzung durch die EU-Mitgliedsstaaten bedürfen. Die erforderlichen Vorstudien und die Einbeziehung aller Beteiligten (Mitgliedsstaaten, Hersteller und Vertreiber, Umwelt- und Verbraucherorganisationen) im Rahmen von Konsultationsforen für elektrisch betriebene, öl- oder gasgefeuerte Zentralheizungsanlagen und Warmwasserbereiter sind abgeschlossen. Entsprechende Verordnungen für die Durchführungsmaßnahmen werden für Warmwasserbereiter und für Heizkessel erwartet. Nach den Entwürfen soll beim Einsatz von öl- und gasbefeuerten Heizkesseln die Brennwerttechnik als Mindeststandard ab 2015 verpflichtend werden. Zudem sollen in einer weiteren Durchführungsmaßnahme Mindeststandards für Biomassekessel festgelegt werden.

Neben den technischen Verbesserungen durch die Durchführungsmaßnahmen der Ökodesign-Richtlinie soll die neugefasste EU-Rahmenrichtlinie zur Energieverbrauchskennzeichnung (RL 2010/30/EU) mit der Einführung der Angabe des Verbrauches an Energie und anderer Ressourcen durch energieverbrauchsrelevante Produkte mittels einheitlicher Etiketten und Produktinformationen zu einer gesteigerten Transparenz beitragen. Die neue Richtlinie ersetzt die ursprüngliche Kennzeichnungs-Rahmenrichtlinie 92/75/EWG. Hinsichtlich der Energieverbrauchskennzeichnung soll für Warmwasserbe-

reiter und Zentralheizungen bis 70 kW eine Energieverbrauchskennzeichnungspflicht eingeführt werden.

Für die Abschätzung der Maßnahmenwirkungen wird angenommen, dass die bestehenden Heizungssysteme (insbesondere die heizöl- und gasbasierten Niedertemperaturkessel) vorrangig durch entsprechende Brennwertkessel oder durch die Verschiebung von Marktanteilen hin zu Wärmepumpen und Blockheizkraftwerken ersetzt werden. Die mittlere Nutzungsgraddifferenz wird mit 15 % angesetzt. Die zusätzliche Emissionseinsparung durch dieses Instrument beträgt nach Tab. 3-32 im Zeitraum bis 2030 insgesamt 3,3 Mio. t CO<sub>2</sub>.

Tab. 3-32: CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial 2009 bis 2030 durch die Ökodesignrichtlinie

|                                       |        | 2011 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|---------------------------------------|--------|------|------|------|------|------|
| Mittlere Nutzungsgraddifferenz        | %      |      | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 |
| CO <sub>2</sub> -Minderung            | Mio. t |      | 0,19 | 0,22 | 0,21 | 0,18 |
| Kumulierte CO <sub>2</sub> -Minderung | Mio. t |      | 0,19 | 1,29 | 2,35 | 3,31 |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

Für das Energiewende-Szenario wurden die folgenden Förderinstrumente einer quantitativen Bewertung unterzogen:

- h) **Verschärfung der Anforderungen der Energieeffizienz** bezüglich der **KfW-Programme** „Energieeffizient Bauen“ und „Energieeffizient Sanieren“. Dabei wird angenommen, dass mit der Einführung der EnEV 2012 im Neubaubereich im Zeitraum 2013 bis 2020 ausschließlich der Effizienzhausstandard „KfW-EH 55“, der maximal 55 % des Primärenergiebedarfs eines Neubaus nach EnEV 2012 aufweist, gefördert wird. Nach 2020 kann die Förderung von Neubauten aufgrund der vorgeschriebenen Errichtung von nahezu Nullenergiehäusern ab dem Jahr 2021 gemäß der europäischen Gebäuderichtlinie eingestellt werden. Entsprechend der unterstellten Verschärfungen im Altbaubereich im Rahmen der EnEV 2012 soll die Förderung ab 2013 auf den Effizienzhausstandard „KfW-EH 70“ im Gebäudebestand beschränkt werden. Die Förderung von Einzelmaßnahmen soll nur noch im Zusammenhang mit einer umfassenden vollständigen energetischen Sanierung gefördert werden, weil einzelne Maßnahmen wie der Einbau neuer, luftdichter Fenster bauphysikalisch problematisch sind und zu Bauschäden, aber auch Beeinträchtigungen der Gesundheit führen können.

Ferner sollen zur besseren Transparenz und zur Steigerung der Sanierungsquote die Fördermodalitäten des KfW-Programms „Energieeffizient Sanieren“ vereinfacht werden. Insbesondere soll dabei das Programm wirkungsvoller ausgestaltet werden.

Im Zeitraum bis 2030 könnten durch die Verschärfungen der geförderten Effizienzhausstandards entgegen dem APS zusätzliche Emissionseinsparungen von insgesamt rund 4,8 Mio. t CO<sub>2</sub> erreicht werden (vgl. Tab. 3-33).

Tab. 3-33: CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial 2009 bis 2030 durch die Verschärfung der KfW-Programme

|                                       |        | 2011 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|---------------------------------------|--------|------|------|------|------|------|
| CO <sub>2</sub> -Minderung            | Mio. t |      | 0,17 | 0,17 | 0,33 | 0,33 |
| Kumulierte CO <sub>2</sub> -Minderung | Mio. t |      | 0,67 | 1,50 | 3,16 | 4,82 |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

- i) **Beschränkung des KfW-Wohneigentumsprogramms:** Neu errichtete Gebäude bewirken, sofern sie keine Nullenergiegebäude sind, unabhängig von deren Energieverbrauch eine Vergrößerung der beheizten Wohnfläche und damit eine Erhöhung der Treibhausgasemissionen. Weil lokal Bedarf an Neubauten bestehen kann, sollten sie dann möglichst energiesparend gebaut und bis einschließlich 2020 im Programm „Energieeffizient Bauen“ gefördert werden. Das Wohneigentumsprogramm wird daher auf den Erwerb bestehender (Eigentums-)Wohnungen oder Häusern oder von Genossenschaftsanteilen beschränkt. Für die Abschätzung der Wirkungen wird unterstellt, dass dieses Programm in 2012 auf den Bestand beschränkt wird. Die zusätzlichen Einsparungen kumulieren sich gemäß der nachfolgenden Tab. 3-34 auf insgesamt rund 0,2 Mio. t CO<sub>2</sub>.

Tab. 3-34: CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial durch Beschränkung des Wohneigentumsprogramms der KfW

|                                       |        | 2011 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|---------------------------------------|--------|------|------|------|------|------|
| CO <sub>2</sub> -Minderung            | Mio. t |      | 0,03 | 0,01 | 0,00 | 0,00 |
| Kumulierte CO <sub>2</sub> -Minderung | Mio. t |      | 0,13 | 0,19 | 0,20 | 0,21 |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

- j) **Bestandersatz als Sanierungsvariante des Programms Energieeffizient sanieren:** Nach den Prognosen des Statistischen Bundesamtes (Destatis 2009) 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. Resultierend aus der demografischen Entwicklung, den steigenden Energiepreisen und den ambitionierten Klimaschutzzielen kann der Wohnungsbestand ohne verstärkten Bestandersatz den Anforderungen nach (Maas 2010) nicht gerecht werden. Dies berücksichtigen die bisherigen Förderprogramme der Bundesregierung nur unzureichend, so dass durch die Einbeziehung des Bestandersatzes in die Förderstruktur ein Anreiz geschaffen werden könnte, Verbesserungen der Bausubstanz zu ermöglichen. Neben der Aufnahme des Bestandersatzes in die Optionen der Stadtumbauprogramme könnte insbesondere die Einführung als Sanierungsvariante des Programms „Energieeffizient sanieren“ eine Verbesserung herbeiführen.

Zur Durchführung dieser Sanierungsvariante sind als Hilfestellung für die Bewertung eindeutige Aussagen, zu den Kriterien der Wirtschaftlichkeit sowie der baurechtlichen, bauphysikalischen, architektonischen und energetischen Aspekte erforderlich.

Dabei sollten mögliche Schnittstellen und Synergien mit den Programmen für den Stadtumbau in Ost- und Westdeutschland und dem Programm "Energetische Städtebau-

sanierung" durch die Einbindung der betroffenen Kommunen nutzbar gemacht werden. So könnten gerade in eher strukturschwachen Regionen Investitionstätigkeiten bei gleichzeitiger Emissionsminderung zielgenau neu angeregt werden.

Die erzielbaren Einsparungen dieses Instruments ergeben sich aus der Differenz des Energieverbrauchs des Bestandsersatzes nach EnEV und dem verbleibenden Energieverbrauch nach der energetischen Sanierung des Altbaus gemäß den Anforderungen der jeweils geltenden EnEV für den KfW-Effizienzhausstandard 100. Die Anwendung des Bestandsersatzes anstelle der energetischen Sanierung wird auf jährlich 3 Mio. m<sup>2</sup> Wohnfläche begrenzt. Unter diesen Annahmen kumulieren sich gemäß Tab. 3-35 die Emissionseinsparungen bis 2030 auf rund 0,3 Mio. t CO<sub>2</sub>.

Tab. 3-35: CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial 2009 bis 2030 durch Bestandsersatz als Sanierungsvariante des Programms Energieeffizient sanieren

|                                       |        | 2011 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|---------------------------------------|--------|------|------|------|------|------|
| CO <sub>2</sub> -Minderung            | Mio. t |      | 0,00 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Kumulierte CO <sub>2</sub> -Minderung | Mio. t |      | 0,01 | 0,12 | 0,21 | 0,29 |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

- k) **Beschränkung des KfW-Programms „Energieeffizient Bauen“:** Durch eine Beschränkung des KfW-Programms auf Projekte der Innenentwicklung und Nachverdichtung wird eine Änderung des Schwerpunkts der Förderung im Neubaubereich vorgenommen. Zugunsten einer nachhaltigeren Stadtentwicklung würden Neubaugebiete im Außenbereich von Städten durch dieses Programm nicht mehr gefördert. Für die Abschätzung der Wirkungen dieses veränderten Instruments wird angenommen, dass die Anzahl und Wohnflächengröße der in Innenbereichen der Städte im Rahmen dieses Programms geförderten Neubauten insgesamt zu einem rund 30 % verminderten Energiebedarf gegenüber den Förderzahlen des Jahres 2011 beitragen wird. Dies kann zumeist durch die geringere bebaubare Fläche in Innenbereichen begründet werden.

Würde dieses geänderte KfW-Programm ab 2013 angewendet, so könnten die in der Tab. 3-36 zusätzlichen Emissionseinsparungen erzielt werden.

Tab. 3-36: CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial bis 2030 durch Beschränkung des KfW-Programms Energieeffizient Bauen

|                                       |        | 2011 | 2015  | 2020  | 2025  | 2030  |
|---------------------------------------|--------|------|-------|-------|-------|-------|
| CO <sub>2</sub> -Minderung            | Mio. t |      | 0,004 | 0,006 | 0,000 | 0,000 |
| Kumulierte CO <sub>2</sub> -Minderung | Mio. t |      | 0,01  | 0,04  | 0,04  | 0,04  |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

- l) **Einspeisung von Wärme aus Erneuerbaren Energien in Wärmenetze mit Bonus fördern:** Erneuerbare Wärme aus Großanlagen soll vorrangig in Nah- und Fernwärmenetze eingespeist und mit einem Bonus vergütet werden. Dies wäre eine sinnvolle Ergänzung zur Förderung der Kleinanlagen über das MAP, zur Nutzungspflicht des EEWärmeG und zum EEG. Auch mit Wärme-Bonus muss die gleichzeitige Stromerzeugung für die Anlagenbetreiber wirtschaftlich attraktiv bleiben.

Der verstärkte Ausbau regenerativer Energien soll somit 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 et al. 2005, Nast, Leprich 2002) analysiert. Durch diese Maßnahme könnten jährlich rund 15 Mio. m<sup>2</sup> Wohnfläche versorgt werden. Bei einer Wirkung von insgesamt 18 Jahren von 2013 bis 2030 würde dies im Jahr 2030 eine Gesamtversorgung von ungefähr 270 Mio. m<sup>2</sup> Wohnfläche bedeuten. Unter diesen Annahmen könnten bis 2030 zusätzliche Emissionseinsparungen nach Tab. 3-37 von 4,4 Mio. t CO<sub>2</sub> erzielt werden.

Tab. 3-37: CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial bis 2030 durch Einspeisung von Wärme aus EE in Wärmenetze

|                                       |        | 2011 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|---------------------------------------|--------|------|------|------|------|------|
| CO <sub>2</sub> -Minderung            | Mio. t |      | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 |
| Kumulierte CO <sub>2</sub> -Minderung | Mio. t |      | 0,93 | 2,09 | 3,25 | 4,41 |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

- m) **Ausbau der Städtebauförderung:** Die Auswirkungen der Städtebauförderung auf die energetischen Sanierungstätigkeiten sind im APS differenziert analysiert worden. Aus diesem Grund wird hier durch den Ausbau der Städtebauförderung die zusätzliche Wirkung dieses Instruments erörtert. Dies betrifft insbesondere die Programme des Städteumbaus Ost und West sowie die soziale Wohnraumförderung. Dabei wird im Gegensatz zum APS von einer Verdopplung der Städtebaufördersummen des Bundes und der Finanzmittel für die Wohnraumförderung durch den Bund und die Länder des Jahres 2012 für den Zeitraum 2013 bis 2030 ausgegangen. Die in den Programmen zusätzlich ausgelösten Investitionen, die die gleichen Förderhebel wie im APS besitzen, führen emissionsseitig zu Mehreinsparungen bis 2030 von insgesamt rund 0,5 Mio. t CO<sub>2</sub> (vgl. Tab. 3-38).

Tab. 3-38: CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial bis 2030 durch den Ausbau der Städtebauförderung

|                                       |        | 2011 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|---------------------------------------|--------|------|------|------|------|------|
| CO <sub>2</sub> -Minderung            | Mio. t |      | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Kumulierte CO <sub>2</sub> -Minderung | Mio. t |      | 0,12 | 0,23 | 0,35 | 0,46 |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

Im Energiewende-Szenario würden die folgenden ökonomischen (Anreiz-) Instrumente spezifisch analysiert:

- n) **Investitionsanreize durch Wärme-Contracting im Mietwohnungsmarkt:** Zur Hebung der bestehenden Einsparpotentiale im Mietwohnungsbereich werden im Rahmen dieses Instruments die Möglichkeiten des Energie-Contractings erweitert. Nach den Vorgaben des Energiekonzepts wird ein einheitlicher rechtlicher Rahmen für Wärmeliefer-Contracting geschaffen.

Mit diesem Instrument sollen unter der Berücksichtigung der mietrechtlichen Voraussetzungen verstärkt die Energieeinsparpotenziale im Mietwohnungsbau durch Contracting-Projekte erschlossen werden. 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. Im Rahmen dieses Projekts wird die mögliche Energieeinsparung mit einem Durchschnittswert von 15 %<sup>17</sup> berücksichtigt.

Für die Berechnungen wird unterstellt, dass durch vermehrte Anwendung des Wärme-Contractings in Mehrfamiliengebäuden ab 2013 der mittlere Erneuerungszyklus der Heizungssysteme von 25 auf 20 Jahre gesenkt werden kann. Das gesamte kumulierte Emissionseinsparpotenzial würde unter diesen Annahmen bis 2030 nach der Tab. 3-39 rund 8,3 Mio. t CO<sub>2</sub> betragen. Die zusätzlichen Einsparungen durch die Verringerung der Erneuerungszyklen um 5 Jahre führen bis 2030 zu rund 1,7 Mio. t CO<sub>2</sub> (vgl. Tab. 3-39)

Tab. 3-39: CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial 2009 bis 2030 durch Wärme-Contracting

|   |        | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|---|--------|------|------|------|------|------|
| Nutzungsgraddifferenz                     | %      |      | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 |
| Zusätzliche Emissionseinsparungen         | Mio. t | 0,00 | 0,43 | 0,50 | 0,47 | 0,41 |
| Gesamte Emissionseinsparungen             | Mio. t | 0,00 | 1,24 | 3,74 | 6,14 | 8,31 |
| Netto-Einsparungen (überschneidungsfrei)  |        |      |      |      |      |      |
| Zusätzliche Emissionseinsparungen (Netto) | Mio. t | 0,00 | 0,09 | 0,10 | 0,09 | 0,08 |
| Gesamte Emissionseinsparungen (Netto)     | Mio. t | 0,00 | 0,25 | 0,75 | 1,23 | 1,66 |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

- o) **Steuerliche Absetzbarkeit für anschaffungsnahe Herstellungskosten:** Um die steuerliche Absetzbarkeit von Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz und zur CO<sub>2</sub>-Minderung zu erhöhen, sollen bei einem Immobilienerwerb im Bestand die Kosten für Instandsetzungs- und Modernisierungsmaßnahmen für diese Zwecke nicht als anschaffungsnahe Herstellungskosten gelten. Einkommensteuerpflichtige Investoren hätten nach der dann gegebenen Rechtslage die Möglichkeit, diese Kosten sofort oder über zwei bis fünf Jahre verteilt abzuschreiben. Darüber hinaus schlägt die dena vor, die steuerliche Absetzbarkeit unabhängig vom persönlichen Steuersatz einzurichten. Dadurch würde ein Anreiz für die energetische Bestandssanierung erzielt. Analysen von Albrecht et al. (2010) bestätigen, dass der Zeitpunkt des Erwerbs oder der Vererbung von Wohngebäuden zugleich auch der geeignete Zeitpunkt zur Durchführung von energetischen Sanierungen ist. Sowohl Komplettsanierungen als auch ambitionierte Teilsanierungen von selbstgenutzten Eigenheimen sollen im Rahmen dieser Maßnahme gefördert werden. Für die Abschätzung der Wirkungen wird bezugnehmend zur jeweils gültigen EnEV der Effizienzhausstandard 70 gemäß den angenommenen Verschärfungen der Anforderungen der KfW-Programme als Mindeststandard herangezogen. Von entscheidender Bedeutung ist es nach der dena (2011) in diesem Zusammenhang, „dass auch Einzelmaßnahmen bei der steuerlichen Begünstigung berücksichtigt werden, soweit sie nachweislich einen Schritt in Richtung Effizienzhaus darstellen und dieses Ziel in einer bestimmten Frist erreicht wird“.

<sup>17</sup> Durchschnittswert von 15 % für die Energieeinsparungen berücksichtigt.

Bei der Realisierung dieses Instruments wird unterstellt, dass in Anlehnung an Destatis (2012) jährlich rund 2 % der selbstgenutzten Wohngebäude einen Eigentümerwechsel erfahren, von denen 50 % einer energetischen Sanierung unterzogen werden. Das Flächenpotenzial würde entsprechend der mittleren Wohnfläche je Wohngebäude von ca. 140 m<sup>2</sup> insgesamt rund 20 Mio. m<sup>2</sup> pro Jahr betragen. Der Nettoeffekt der zusätzlichen Emissionseinsparungen liegt im Zeitraum 2013 bis 2030 bei ungefähr 6,3 Mio. t CO<sub>2</sub>.

- p) **Stärkung des Marktanreizprogramms für erneuerbare Energien:** Für die Weiterentwicklung der erneuerbaren Energien im Gebäudebestand wird das Marktanreizprogramm zur Förderung des Einsatzes erneuerbarer Energien im Wärmemarkt ab 2013 mit zusätzlichen Finanzmitteln möglicherweise aus dem Sondervermögen nach Maßgabe des Wirtschaftsplans des Energie- und Klimafonds bis 2030 auf der Basis von jährlich 500 Mio. € fortgeführt. Entgegen den unterstellten Fördermitteln des APS stellt dies eine Erhöhung von mehr als 40 % dar. Entsprechen die Fördertatbestände weitestgehend den Vorgaben des Jahres 2011, so könnten bis 2030 durch die zusätzlich ausgelösten Investitionen Mehreinsparungen von insgesamt rund 5,0 Mio. t CO<sub>2</sub> erreicht werden (Tab. 3-40).

Tab. 3-40: CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial bis 2030 durch Stärkung des Marktanreizprogramms

|                                       |        | 2011 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|---------------------------------------|--------|------|------|------|------|------|
| CO <sub>2</sub> -Minderung            | Mio. t |      | 0,26 | 0,26 | 0,26 | 0,26 |
| Kumulierte CO <sub>2</sub> -Minderung | Mio. t |      | 1,03 | 2,31 | 3,59 | 4,87 |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

- q) **Förderprogramm „Energetische Städtebausanierung“:** Nach dem Energiekonzept der Bundesregierung (BMWi, BMU 2010) soll ein Förderprogramm „Energetische Städtebausanierung“ bei der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) eingeführt werden. Die Zielsetzung dieses Programms besteht darin, verstärkt umfassende Investitionen in Energieeffizienz und erneuerbare Energien anzustoßen. Die energetische Sanierung wird somit unter besonderer Berücksichtigung von Stadtquartieren durch ein gesondertes Programm gefördert. Die zu erreichenden Effizienzstandards entsprechen für die Berechnungen den Vorgaben des KfW-Programms „Energieeffizient Sanieren“. In Anlehnung an die Aussagen des Bundesministeriums für Umwelt wird der Mindestbedarf der jährlichen Förderung mit 250 Mio. € beziffert. Der Nettoeffekt dieser zusätzlichen Förderung würde sich unter diesen Annahmen im Zeitraum 2013 bis 2030 auf insgesamt rund 1,6 Mio. t CO<sub>2</sub> belaufen.

Tab. 3-41: CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial bis 2030 durch Förderprogramm „Energetische Städtebausanierung“

|                                       |        | 2011 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|---------------------------------------|--------|------|------|------|------|------|
| CO <sub>2</sub> -Minderung            | Mio. t |      | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 |
| Kumulierte CO <sub>2</sub> -Minderung | Mio. t |      | 0,35 | 0,78 | 1,21 | 1,64 |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

Zum Gesamtmix der Instrumente für das Energiewende-Szenario gehört schließlich auch eine Reihe flankierender Instrumente, die im Rahmen der Modellierung nicht berücksichtigt wer-

den, denen aber gleichwohl eine wichtige bergreifende Rolle zukommt. Hierzu gehoren u. a. die Verstarkung von Energieforschung und Innovation und die Verbesserung der Effizienz der Wohnraumbelageung und Verringerung des Neubaubedarfs in Wachstumsregionen durch Ermutigung von Wohnungstausch oder Umzugsmanagement.

### 3.2.3 Methodik

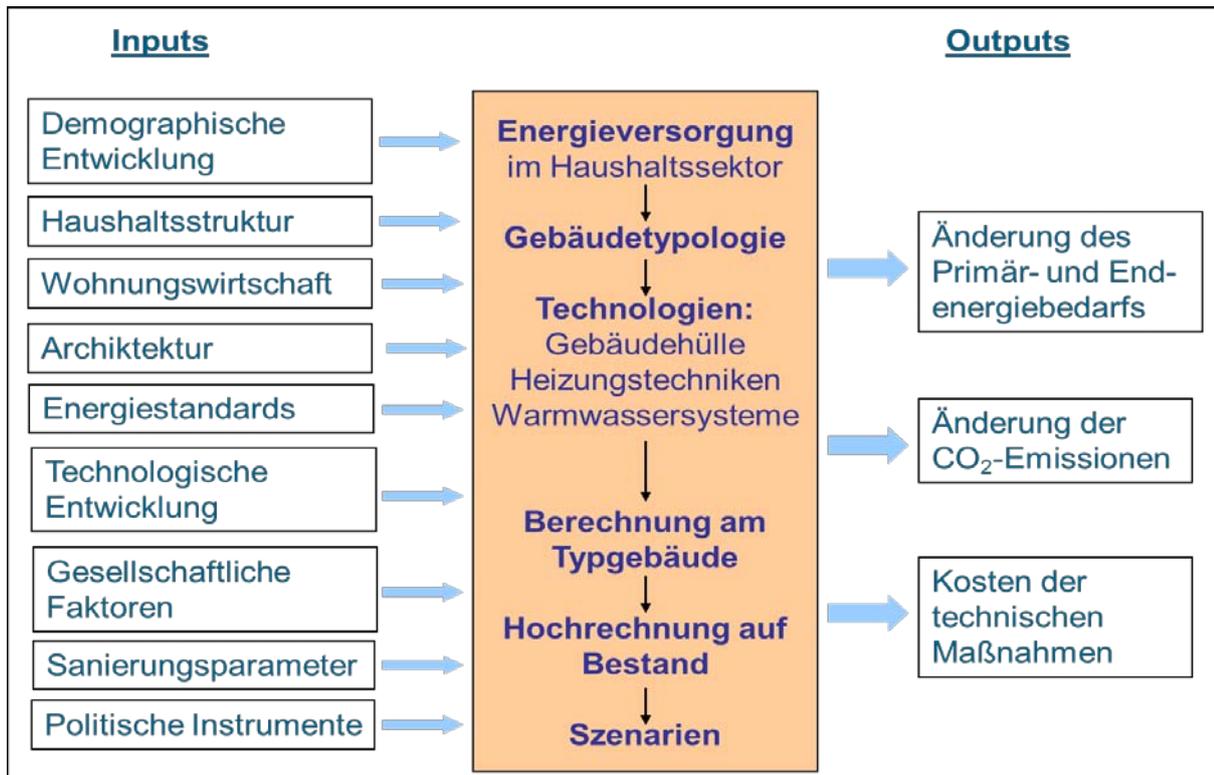
Fur die Szenariorechnungen wird ein vom Forschungszentrum Julich entwickeltes Simulationsmodell eingesetzt, das im Rahmen diverser gebaudeseitiger Analysen eingesetzt wird. Hierbei handelt es sich um ein dynamisches Simulationsmodell, mit dem MaBnahmen an Einzelgebauden in ihrer zeitlichen Abfolge vorgegeben und ihre Auswirkungen uber einen festgelegten Betrachtungszeitraum ermittelt werden konnen. Das Modell weist fur die Raumwarme- und Warmwassererzeugung den Energieverbrauch, die CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie die jeweiligen Kosten aus.

Das Wohngebäude-Modell ist ein dynamisches Simulationsmodell, welches die zeitabhängige Entwicklung des Energiebedarfs der Wohngebäude und die Abbildung technischer Optionen in Form von Szenarien simuliert. Die Zeitschritte der zu definierenden Szenarien umfassen in der Regel ein Jahr, wobei der Zeithorizont frei wählbar ist. Bei der Durchführung von Szenariorechnungen ist das Modell unter Einbezug von Rahmenbedingungen insbesondere hinsichtlich der Wohnflächen und Haushaltsstrukturen zuerst auf den vereinbarten Ausgangszustand in einem bestimmten Referenzjahr und zur Modelljustierung an die realen Daten des Bezugsjahres anzupassen.

Ausgehend von einer umfassenden Datenbank, in der alle relevanten Alters- und Größenklassen des Wohngebäudebestandes sowie die Heizungs- und Warmwassersysteme enthalten sind, berechnet das Modell den jährlichen Nutzenergiebedarf für Raumwärme und Warmwasser differenziert nach den Energieträgern sowie den zugehörigen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen wird auf der Basis der UBA-CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren durchgeführt. Mit den Typologien der Datenbank kann der gesamte deutsche Wohngebäudebestand abgebildet und für die Zukunft u. a. unter Berücksichtigung der Wirkungen von gesellschaftlichen und demographischen Entwicklungen dynamisch fortgeschrieben werden. Durch jährliche Updates wird eine kontinuierliche Fortführung der Datenbank sichergestellt.

Die Auswirkungen verschiedener Maßnahmen zur Wärmedämmung an der Gebäudehülle und zur Heizungsanlagenverbesserung können mit dem Modell abgeschätzt werden. Dabei können alle Systemparameter variiert werden, so dass grundsätzlich die Auswirkungen aller möglichen Maßnahmen auch in ihrer Kombination berechnet werden können. Die für die jeweiligen Szenarien ausgewählten Maßnahmen sowie Instrumente werden zuvor auf die Schnittstellen des Modells übersetzt und dann hinsichtlich ihrer energie-, emissions- und kostenseitigen Auswirkungen im zeitlichen Verlauf analysiert.

Abb. 3-3: Struktur des FZJ-Gebäudesimulationsmodells



Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

### 3.2.4 Annahmen und Parameter

Unter variablem Einsatz der Parameter Sanierungsrate, Ausnutzung der Sanierungspotenziale und Veränderung der Bedarfsstruktur können vielfältige technische Analysen durchgeführt werden. Zur Hebung dieser Potenziale sind grundsätzlich die Nachfragestrukturen und Trends zu berücksichtigen und die differenzierten Technikketten zu Technikpfaden zu aggregieren sowie zu implementieren.

Eine Übersicht zur Struktur des Modells ist in Abb. 3-3 dargestellt. Die Analyse der zukünftigen Energieversorgung ist dabei von einer Reihe von Eingangsgrößen abhängig, die dem Modell exogen vorgegeben werden:

- Die **demographische Entwicklung** und zugehörige Haushaltsstruktur wurden dem Modell auf der Grundlage der Daten des Kapitels 2.1 vorgegeben.
- **Wohnwirtschaftliche Parameter:** Der Wohnungsbedarf steht in direktem Zusammenhang zu den Haushaltszahlen und -strukturen und führt vor allem aufgrund von regional verschiedenen wirtschaftlichen Entwicklungen zu einer differenzierten Nachfrage nach Wohnraum. Im Modell werden bundesweit aggregierte Werte für die Wohnflächennachfrage verwendet. Der zukünftige Wohnflächenkonsum wird dabei in Anlehnung an die Methodik des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung ermittelt. Die Nachfrage nach Wohnraum wird differenziert nach Eigentums- und Mieterhaushalten sowie in Abhängigkeit von Altersgruppen unter der Berücksichtigung des Einflusses der demographischen Entwicklungen, der zukünftigen Haushaltsstrukturen sowie des verfügbaren Einkommens analysiert. Die in das Modell

eingehenden wohnwirtschaftlichen Parameter sind der Abriss und Zubau von Wohnraum sowie die Erweiterungsmaßnahmen im Bestand.

- **Architektur:** Die architektonischen Besonderheiten des Wohngebäudesektors werden durch die Gebäudetypen und Baualtersklassen im Modell beschrieben.
- **Energiestandards:** Die energetischen Anforderungen an die Bauteile der Gebäudehülle und der Heizungsanlage werden, entsprechend den nationalen Gesetzen und Verordnungen sowie den europäischen Richtlinien, dem Modell vorgegeben. Auf nationaler Ebene sind dies die Energie-Einsparverordnung (EnEV) und das Erneuerbaren-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG). Die Vorgaben der EU beziehen sich auf die Gebäuderichtlinie, die Richtlinie zur Förderung der Nutzung von erneuerbaren Energien, die Energieeffizienzrichtlinie sowie die Ökodesign-Richtlinie.
- **Technische Entwicklung:** Der Fortschritt der technischen Maßnahmen für Wärmedämmungen oder Heizungstechnologien wird im Modell je Maßnahme über den Szenariohorizont unter Berücksichtigung von Lernkurveneffekten hinsichtlich technischer Parameter und der Entwicklung der Kosten abgeschätzt.
- **Gesellschaftliche Faktoren:** Die veränderten Lebens- und Arbeitsformen führen zu gesellschaftlichen Ansprüchen an das Wohnen und können direkten Einfluss auf die Bedeutung des eigenen Hauses sowie der Eigentümerquote haben. Dieser Aspekt wird im Zusammenhang mit der Herleitung der zukünftigen Wohnflächen erörtert.
- **Sanierungsparameter:** Da die Lebensdauer von Wohngebäuden mit nahezu 150 Jahren die technischen Lebensdauer der Bauteile der Gebäudehülle und der Heizungsanlage deutlich übersteigt, sind in regelmäßigen Renovierungszyklen Sanierungsmaßnahmen erforderlich. Hierbei wird zwischen baulichen und energetischen Sanierungen unterschieden. Werden dabei nur Maßnahmen zur Instandhaltung der Bauteile vorgenommen (z. B. Putzerneuerung der Fassade), so handelt es sich um bauliche Sanierungen, die keinerlei energieseitige Auswirkungen besitzen. Werden stattdessen energetische Sanierungen durchgeführt, führen diese Maßnahmen zur Verminderung des Energieverbrauchs und der Emissionen.

Im Modell werden energetische Sanierungen, die nach dem Renovierungszyklus der betrachteten Technik erfolgen, durch energetische Sanierungsrate je technischer Maßnahme vorgegeben. Mit dieser energetischen Sanierungsrate wird die Quantität der Sanierungen festgelegt. Unter gleichzeitiger Berücksichtigung der Qualität der energetischen Sanierungsmaßnahme kann die Ausschöpfung des Sanierungspotenzials, die als Potenzialausnutzung bezeichnet wird, als Input für das Modell bestimmt werden. In der vorliegenden Arbeit berücksichtigt die derzeitige energetische Sanierungsrate von 1 %/a eine Potenzialausnutzung von 32 %. Abhängig von den Szenarien wird im EWS ein gleichmäßiger Anstieg der Sanierungsrate und der Potenzialausnutzung unterstellt. Im EWS steigt hierdurch die energetische Sanierungsrate auf jährlich 2 % an, während sie APS auf dem Niveau von 1 % pro Jahr verbleibt.

- **Politische Instrumente:** Die Wirkungen von nationalen und europäischen klimapolitischen Instrumenten im Bereich der Raumwärme- und Warmwassererzeugung zur Ener-

gieversorgung kann durch die Modellierung bzw. Übersetzung in technische Maßnahmen differenziert simuliert werden.

Um den gesamten Wärmebedarf und den daraus resultierenden Nutzenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser zu erfassen, ist die Kenntnis des Gebäudebestandes erforderlich. Die architektonische Vielfalt der Gebäude macht es erforderlich, den Bestand auf einige charakteristische Typen zu reduzieren, die mit ihrer Häufigkeit an der Gesamtwohnfläche den modellmäßigen Gebäudebestand bilden. Die Qualität der Aussagen über den Gebäudebestand hängt entscheidend davon ab, wie gut diese Typgebäude mit ihren Anteilen den aktuellen Zustand des Gebäudebestandes repräsentieren. Diese Gebäudetypen werden durch einen Satz von spezifischen Merkmalen charakterisiert.

Die klimatischen Einflüsse werden durch die Länge und Intensität der Heizperiode gekennzeichnet. Zur Abbildung der klimatischen Bedingungen in Deutschland wird im Modell eine Temperaturbereinigung auf der Basis von 41 Messstationen in Deutschland in Bezug zum langjährigen Mittel von 1970 bis 2009 vorgenommen.

Der Raumwärmebedarf in Alt- und Neubauten wird durch Verhaltensweisen und Gewohnheiten beim Wohnen und Heizen mitbestimmt. Dazu gehören insbesondere Ansprüche an Belüftung mit Frischluft, Komfortansprüche bei den Innentemperaturen in Wohn-, Bade- und Schlafzimmern sowie in Wirtschaftsräumen und der Warmwasserbedarf und sein Temperaturniveau. Im Modell werden diese Parameter durch drei für alle Gebäude einheitliche Größen (die mittlere Raumtemperatur, Lüftungszahl sowie die Orientierung nach Himmelsrichtungen) gemäß den Anforderungen der geltenden EnEV festgelegt.

### **Berechnung von Maßnahmen**

Zur Berechnung der energie-, emissions- und kostenseitigen Wirkungen einer einzelnen Maßnahme an einem konkreten Gebäude ist die Kenntnis des jeweiligen Typgebäudes erforderlich. Voraussetzung ist ein Verfahren zur Berechnung des Wärmebedarfs eines Gebäudes anhand genauer Gebäudedaten, wie Flächen der Wand-, Dach-, Keller- und Fenster-Bauteile mit Orientierung und bauphysikalischen Kennwerten. Ferner ist der Einfluss der Bewohner bzw. Nutzer zu berücksichtigen. Die Berechnung des spezifischen Heizwärme- und Warmwasserbedarfs für die Gebäudetypen des Wohngebäudesektors erfolgt auf der Grundlage der in der geltenden EnEV 2009 geforderten Normen und Vorgehensweisen. Grundsätzlich können alle Größen, die den Wärmebedarf eines Gebäudes bestimmen, variiert werden, um deren Einfluss zu analysieren.

Die Berechnung einer einzelnen Maßnahme setzt dabei voraus, dass die notwendigen Kenndaten eine exogene Bestimmungsgröße für das Verfahren zur Berechnung des Wärmebedarfs darstellen. Um den Aufwand bei der Datenerhebung in einem vernünftigen Verhältnis zur erzielbaren Genauigkeit zu halten, wurde für die Typgebäude eine Reihe von Vereinfachungen getroffen. Umgekehrt bestimmt die Art der zu simulierenden Maßnahmen das Maß der Detaillierung.

Zur Berechnung von Energieeinspar- bzw. Emissionsminderungs-Maßnahmen und ihren Kosten für den gesamten Gebäudebestand sind Einzelmaßnahmen oder Maßnahmenkombinationen an den Typgebäuden möglich. Dabei bezieht sich eine Maßnahme nicht auf alle Gebäude eines Typs, sondern auf einen Anteil der Gebäude. So können auch am selben Typ gleichzeitig unterschiedliche Maßnahmenkombinationen untersucht werden. Die Ergebnisse beziehen sich dann

auf die Gesamtwohnfläche pro Typgebäude. Somit können Maßnahmenwirkungen für ein einzelnes Typgebäude berechnet werden und anschließend auf den Bestand der Gesamtwohnfläche hochgerechnet werden. Dabei sind die technischen und ökonomischen Kriterien festzulegen, nach denen eine Maßnahme zum Einsatz kommt.

Die Angabe, welche Anteile des Bestandes infolge einer Maßnahme umzurüsten sind, erfolgt durch den Renovierungszyklus. Kommen innerhalb eines Zeitintervalls  $[t_1, t_2]$  Bauteile mit einer durchschnittlichen Lebensdauer von  $\Delta\tau$  Jahren zum Einsatz, so werden diese im Zeitintervall  $[t_1+\Delta\tau, t_2+\Delta\tau]$  ersetzt. Bezieht sich das Intervall nur auf eine Baualtersklasse, so kann der Anteil der Umrüstungen bezogen auf das Zeitintervall durch  $1/(t_2-t_1)$  im Zeitintervall  $[t_1+\Delta\tau, t_2+\Delta\tau]$  approximiert werden.

Im Modell werden Sanierungsmaßnahmen zur Reduzierung der Wärmeverluste der Außenbauteile (Wände, Fenster, Dächer, Decken) oder am Heizungs- und Warmwassersystem (Modernisierung, Austausch des Wärmeerzeugers, Substitution des Brennstoffs), die zur Absenkung des Wärmebedarfs beitragen, analysiert.

Das Spektrum der Emissionsreduktionspotentiale erstreckt sich über die Verbesserung aller konventionellen Systeme bis zum Einsatz schadstoffarmer innovativer Heizungssysteme. Die Maßnahmen an dem Heizungssystem beinhalten im Modell die Einführung von Techniken des jeweils modernsten Stands bei festgehaltener Ausgangstechnik (z. B. Ersatz veralteter Kessel durch moderne Heizungssysteme).

### **Bewertung von Maßnahmen**

Zur Bewertung von unterschiedlichen Maßnahmen an Gebäuden wird im Modell ein so genanntes Referenz-Niveau definiert, das als Bezug für Energieverbrauchs-, Emissions- und Kostenanalysen anderer Szenarien dient. Dieses Referenzniveau beinhaltet Maßnahmen, bei denen im Wesentlichen nur Bestandsveränderungen durch Abriss, Zubau und Erweiterungen im Bestand über den definierten Szenariohorizont erfolgen. Alternativszenarien sind alle Szenarien, die sich beim jeweils konkreten Maßnahmenkatalog (bei gleichen Basisparametern wie Diskontfaktor und Zeiträumen) vom Referenzszenario unterscheiden.

Die Datenvorgabe ist gegliedert nach Maßnahmen an der Gebäudehülle, den Heizungs- und Warmwassersystemen sowie der Wärmeverteilung in den Gebäuden. Aus den baulichen Maßnahmen an den Gebäudehüllen wird zunächst der resultierende jährliche Wärmebedarf des Gebäudes bzw. des Bestands berechnet. In einem weiteren Schritt werden die zur Deckung des Wärmebedarfs erforderlichen Brennstoffmengen infolge der neuen Heizungsstruktur ermittelt. Die Berechnungen liefern für jeden Zeitschritt die Jahresmengen der jeweils eingesetzten Brennstoffe und der entsprechenden CO<sub>2</sub>-Emissionen. Aus den vorgegebenen Maßnahmen werden die jährlichen Investitionskosten und aus den Brennstoffmengen die Brennstoffkosten (inklusive Nebenkosten wie Wartung und Instandhaltung) hergeleitet.

Das Modell ermöglicht eine kostenseitige Bewertung nach verschiedenen Verfahren (Annuitätenmethode, Barwertmethode). Von entscheidender Bedeutung ist die Definition einer Referenzentwicklung an der die Wirkungen der Maßnahmen gespiegelt werden. Ausgehend von diesem Referenzniveau werden im Vergleich mit den alternativ generierten Szenarien die Differenzen der Kostenbarwerte, der Energieverbräuche und der CO<sub>2</sub>-Emissionen ausgewiesen.

Zusammenfassend kann man festhalten, dass die Szenarien durch die Endenergieverbräuche, deren Zusammensetzung, die CO<sub>2</sub>-Emissionen und die Kosten der technischen Maßnahmen

(abdiskontierte Summe der jährlichen Gesamtkosten aus Investitionen an Gebäuden und Versorgungssystemen und den verbrauchten Endenergieträgern) beschrieben werden. Der kosten- und emissionsseitige Vergleich erlaubt auch eine Berechnung der spezifischen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten einzelner Maßnahmen.

### **3.2.5 Ergebnisse der Projektionen**

#### **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 entstehenden Emissionen dem Energiesektor angerechnet. Die Emissionen werden hier für die Raumwärmeerzeugung und die Warmwasserbereitstellung einschließlich des Stroms für Lüftungsanlagen berechnet, wobei immer nur die Summe angegeben wird. Umwälzpumpen werden im Kapitel Strom in privaten Haushalten betrachtet.

Die Entwicklung der Vergangenheitswerte liegt bis 2008 vor. Für das Jahr 2009, welches als Ausgangsjahr für die Szenarioanalysen dient, muss das Ausgangsniveau der CO<sub>2</sub>-Emissionen ermittelt werden.

#### **Aktuelle-Politik-Szenario**

In der Tab. 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 15,1 Mio. t und das Marktanzreizprogramm für Erneuerbare Energien mit insgesamt rund 13,4 Mio. t CO<sub>2</sub> die größten Beiträge.

Die ordnungsrechtlichen Maßnahmen der Novellierung der EnEV sowie die Einführung des Erneuerbaren-Energien-Wärmegesetzes (EEWärmeG) führen in der Summe zu Emissionseinsparungen von 5,0 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.

Tab. 3-42: Maßnahmenpezifische CO<sub>2</sub>-Einsparungen im Aktuelle-Politik-Szenario

| Maßnahme  | Typ      | Beschreibung / Ziele (Wirkungsbereich) | Umsetzungsstand (Wirkungsbeginn) | Direkte Emissionsminderung       |            |             |             |
|---|----------|--|----------------------------------|----------------------------------|------------|-------------|-------------|
|   |          |  |                                  | 2015                             | 2020       | 2025        | 2030        |
|   |          |  |                                  | in Mio. t CO <sub>2</sub> -Äqui. |            |             |             |
| KfW-Programm Energieeffizient Sanieren                      | F        | monetäre Förderung                     | ab 2001                          | 4,4                              | 7,9        | 11,5        | 15,1        |
| KfW-Programm Energieeffizient Bauen                         | F        | monetäre Förderung                     | ab 2005                          | 0,1                              | 0,2        | 0,2         | 0,2         |
| <i>KfW-CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramm</i>         | <i>F</i> | <i>monetäre Förderung</i>              |                                  | <i>4,5</i>                       | <i>8,1</i> | <i>11,7</i> | <i>15,2</i> |
| Marktanreizprogramm - Biomasse                              | F        | monetäre Förderung                     | ab 1996                          | 2,3                              | 4,1        | 5,9         | 7,7         |
| Marktanreizprogramm - Solar                                 | F        | monetäre Förderung                     | ab 1996                          | 0,8                              | 1,3        | 1,9         | 2,4         |
| Marktanreizprogramm - Wärmepumpe                            | F        | monetäre Förderung                     | ab 2008                          | 0,3                              | 0,6        | 0,8         | 1,0         |
| Marktanreizprogramm - Wärmenetze                            | F        | monetäre Förderung                     | ab 2008                          | 0,7                              | 1,2        | 1,7         | 2,2         |
| <i>Marktanreizprogramm - Erneuerbare Energien</i>           | <i>F</i> | <i>monetäre Förderung</i>              |                                  | <i>4,1</i>                       | <i>7,2</i> | <i>10,3</i> | <i>13,4</i> |
| Städtebauförderprogramm - Stadtumbau Ost                    | F        | monetäre Förderung                     | ab 2002                          | 0,1                              | 0,1        | 0,1         | 0,2         |
| Städtebauförderprogramm - Stadtumbau West                   | F        | monetäre Förderung                     | ab 2004                          | 0,1                              | 0,1        | 0,1         | 0,2         |
| Städtebauförderprogramm - Aktive Stadt- und Ortsteilzentren | F        | monetäre Förderung                     | ab 2008                          | 0,0                              | 0,1        | 0,1         | 0,1         |
| Soziale Wohnraumförderung                                   | F        | monetäre Förderung                     | ab 2001                          | 0,0                              | 0,1        | 0,1         | 0,1         |
| EnEV 2009 (gegenüber EnEV 2007)                             | R        | Ordnungsrecht                          | ab 10/2009                       | 1,2                              | 2,3        | 3,4         | 4,5         |
| EEWärmeG 2011 (durch Neubau)                                | R        | Ordnungsrecht                          | ab 2009                          | 0,2                              | 0,3        | 0,4         | 0,5         |
| Energieberatung vor Ort                                     | F        | monetäre Förderung                     | ab 2006                          | 0,2                              | 0,4        | 0,5         | 0,6         |
| Novellierung der Heizkostenverordnung                       | R        | Ordnungsrecht                          | ab 2009                          | 0,1                              | 0,2        | 0,3         | 0,4         |
| <i>Abzüge wegen Überschneidungen</i>                        |          |  |                                  | <i>1,5</i>                       | <i>2,6</i> | <i>3,8</i>  | <i>5,0</i>  |
| Ungewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen        |          |  |                                  | 10,5                             | 18,8       | 27,0        | 35,1        |
| Wirkungen der Einzelmaßnahmen (ohne Überlagerungseffekte)   |          |  |                                  | 9,1                              | 16,2       | 23,2        | 30,2        |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

### Energiewende-Szenario

Die größten Einzelbeiträge im Bereich der CO<sub>2</sub>-Emissionseinsparungen bis 2030 liefern die Stärkung des Vollzugs der EnEV mit 16,3 Mio. t und die Steuerliche Absetzbarkeit mit 6,3 Mio. t CO<sub>2</sub>. Durch die Vereinfachungen der Sanierungen im Mietwohnungsmarkt und durch die Stärkung des Marktanreizprogramms für erneuerbare Energien könnten nach den Abschätzungen weitere 6,2 und 4,9 Mio. t CO<sub>2</sub> eingespart werden (vgl. Tab. 3-43).

Tab. 3-43: CO<sub>2</sub>-Einsparungen der Instrumente im EWS

| Maßnahme  | Typ | Beschreibung / Ziele (Wirkungsbereich) | Umsetzungsstand (Wirkungsbeginn) | Direkte Emissionsminderung      |      |      |      |
|---|-----|--|----------------------------------|---------------------------------|------|------|------|
|   |     |  |                                  | 2015                            | 2020 | 2025 | 2030 |
|   |     |  |                                  | in Mio. t CO <sub>2</sub> -Äqu. |      |      |      |
| Stärkung des Vollzugs der EnEV                            | R   | Ordnungsrecht                          | ab 2013                          | 1,0                             | 4,4  | 10,3 | 16,3 |
| Steuerliche Absetzbarkeit                                 | F   | monetäre Förderung                     | ab 2013                          | 0,4                             | 1,7  | 4,0  | 6,3  |
| Vereinfachung der Sanierungen im Mietwohnungsmarkt        | R   | Ordnungsrecht                          | ab 2013                          | 0,9                             | 2,8  | 4,5  | 6,2  |
| Stärkung des Marktanzreizprogramms EE                     | F   | monetäre Förderung                     | ab 2013                          | 1,0                             | 2,3  | 3,6  | 4,9  |
| Erhöhung der Effizienzstandards der KfW-Programme         | F   | monetäre Förderung                     | ab 2013                          | 0,7                             | 1,5  | 3,2  | 4,8  |
| Novellierungen der EnEV 2009                              | R   | Ordnungsrecht                          | ab 2013                          | 0,5                             | 1,5  | 3,1  | 4,7  |
| Vermehrte Anordnung eines Fernwärmeanschlusszwangs        | R   | Ordnungsrecht                          | ab 2013                          | 1,0                             | 2,2  | 3,4  | 4,7  |
| Bonusförderung der Einspeisung EE in Wärmenetze           | F   | Ordnungsrecht                          | ab 2013                          | 0,9                             | 2,1  | 3,3  | 4,4  |
| Ökodesignrichtlinie - Dfm. Heizungssysteme                | F   | monetäre Förderung                     | ab 2013                          | 0,2                             | 1,3  | 2,4  | 3,3  |
| Novellierung EEWärmeG                                     | R   | monetäre Förderung                     | ab 2013                          | 0,4                             | 1,3  | 2,3  | 2,9  |
| Steigerung der Nachrüstverpflichtungen der EnEV           | R   | Ordnungsrecht                          | ab 2013                          | 0,5                             | 1,1  | 1,8  | 2,5  |
| Wärme-Contracting im Mietwohnungsmarkt                    | F   | monetäre Förderung                     | ab 2013                          | 0,2                             | 0,7  | 1,2  | 1,7  |
| Förderprogramm Energetische Städtebausanierung            | F   | monetäre Förderung                     | ab 2013                          | 0,3                             | 0,8  | 1,2  | 1,6  |
| Ausbau der Städtebauförderung                             | F   | monetäre Förderung                     | ab 2013                          | 0,1                             | 0,2  | 0,3  | 0,5  |
| Bestandersatz als KfW-Programmvariante                    | F   | monetäre Förderung                     | ab 2013                          | 0,0                             | 0,1  | 0,2  | 0,3  |
| Änderung des KfW-Wohneigentumprogramms                    | F   | monetäre Förderung                     | ab 2013                          | 0,1                             | 0,2  | 0,2  | 0,2  |
| Beschränkung des Programms Energieeffizient Bauen         | F   | monetäre Förderung                     | ab 2013                          | 0,0                             | 0,0  | 0,0  | 0,0  |
| Abzüge wegen Überschneidungen                             |     |  |                                  | 3,1                             | 10,4 | 19,1 | 27,1 |
| Ungewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen      |     |  |                                  | 8,3                             | 24,4 | 45,1 | 65,3 |
| Wirkungen der Einzelmaßnahmen (ohne Überlagerungseffekte) |     |  |                                  | 5,2                             | 14,0 | 26,0 | 38,2 |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

### Vergleich des Endenergiebedarfs in den Szenarien

Die Entwicklung des Endenergiebedarfs für die Bereiche Raumwärme und Warmwasser ist in der Tab. 3-44 inklusive Fernwärme und Strom aufgeführt. Der Endenergieverbrauch sinkt gegenüber 1990 (bzw. 2008) bis zum Jahr 2020 im Aktuelle-Politik-Szenario um 1 % (bzw. 6 %) und im EWS um 8 % (bzw. 12 %). Bis 2030 kann der Endenergieverbrauch gegenüber 2008 im Aktuelle-Politik-Szenario um 12 % und im EWS um 34 % vermindert werden.

Tab. 3-44: Entwicklung des Endenergiebedarfs in den Szenarien bis 2030

|                         | 1990                     | 2000  | 2008  | 2010  | 2015  | 2020  | 2025  | 2030  |
|-------------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                         | in PJ                    |       |       |       |       |       |       |       |
| Entwicklung 1990 - 2008 | 2.052                    | 2.220 | 2.175 |       |       |       |       |       |
| APS                     |                          |       |       | 2.154 | 2.098 | 2.026 | 1.957 | 1.887 |
| EWS                     |                          |       |       | 2.153 | 2.054 | 1.898 | 1.677 | 1.430 |
|                         | Veränderung ab 1990 in % |       |       |       |       |       |       |       |
| APS                     |                          |       |       | 5     | 2     | -1    | -5    | -8    |
| EWS                     |                          |       |       | 5     | 0     | -7    | -18   | -30   |
|                         | Veränderung ab 2008 in % |       |       |       |       |       |       |       |
| APS                     |                          |       |       | -1    | -4    | -7    | -10   | -13   |
| EWS                     |                          |       |       | -1    | -6    | -13   | -23   | -34   |

Quelle: UBA (ZSE, NIR), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI, IEK-STE und Öko-Institut.

Der Einsatz der fossilen Energieträger Erdgas, Heizöl und Kohle geht nach den Berechnungen im Aktuelle-Politik-Szenario gegenüber dem Jahr 2008 bis zum Jahr 2030 um insgesamt 522 PJ zurück. Im EWS sinkt der Verbrauch fossiler Energieträger bis 2030 um mehr als 1.100 PJ. Mehr als 40 % der Endenergieeinsparungen dieser fossilen Energieträger können auf den Rückgang des Einsatzes von Heizöl zurückgeführt werden (vgl. Tab. 3-45 und Tab. 3-52).

Tab. 3-45: Entwicklung des Endenergiebedarfs nach Energieträgern im APS bis 2030

| Energieträger              | 1990  | 2000  | 2008  | 2015  | 2020  | 2025  | 2030  |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                            | in PJ |       |       |       |       |       |       |
| Gas gesamt                 | 621   | 975   | 965   | 918   | 872   | 826   | 780   |
| Erdgas                     | 621   | 975   | 965   | 910   | 859   | 807   | 756   |
| Biogas-Zumischung (NawaRo) | 0     | 0     | 0     | 8     | 12    | 15    | 17    |
| Biogas-Zumischung (Abfall) | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 2     | 4     |
| Gas mit SNG aus Holz       | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 3     |
| Heizöl                     | 740   | 779   | 649   | 564   | 495   | 426   | 358   |
| Steinkohle                 | 25    | 20    | 24    | 20    | 19    | 17    | 15    |
| Steinkohlenkoks            | 13    | 8     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     |
| Braunkohle                 | 351   | 20    | 20    | 15    | 13    | 11    | 9     |
| Biomasse                   | 39    | 165   | 204   | 242   | 273   | 305   | 338   |
| Solarenergie               | 0     | 3     | 10    | 20    | 27    | 34    | 42    |
| Umweltwärme                | 0     | 4     | 15    | 35    | 51    | 67    | 83    |
| Strom                      | 103   | 114   | 122   | 110   | 98    | 87    | 75    |
| Fern- und Nahwärme         | 160   | 131   | 164   | 172   | 178   | 183   | 189   |
| Summe                      | 2.052 | 2.220 | 2.175 | 2.097 | 2.026 | 1.957 | 1.887 |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE<sup>18</sup>.

<sup>18</sup> Für die Erneuerbaren, die dem konventionellen Erdgas zugemischt werden, wird für Biogas und SNG aus Holz die Beimischung und ihre Potenziale in Anlehnung an „Systemanalyse – Teil II - Bewertung der Energieversorgung mit leitungsgebundenen gasförmigen Brennstoffen im Vergleich zu anderen Energieträgern - Einfluss moderner Gasttechnologien in der häuslichen Energieversorgung auf Effizienz und Umwelt - Abschlussbericht G 5/04/09-TP2“ in den Szenarien berücksichtigt. Eine generelle Bestimmung der Herkunft der Biomassepotenziale erfolgt hier nicht.

Die Endenergieeinsparungen der einzelnen Maßnahmen des „Aktuelle Politik“-Szenarios sind in der folgenden Tabelle dargestellt, anschließend erfolgt eine Aufgliederung nach Energieträgern.

Tab. 3-46: Entwicklung des Endenergiebedarfs nach Maßnahmen im APS bis 2030

| Maßnahme  | Typ      | Beschreibung / Ziele (Wirkungsbereich) | Umsetzungsstand (Wirkungsbeginn) | Endenergie   |              |              |              |
|---|----------|--|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|   |          |  |                                  | 2015         | 2020         | 2025         | 2030         |
|   |          |  |                                  | in PJ        |              |              |              |
| KfW-Programm Energieeffizient Sanieren                      | F        | monetäre Förderung                     | ab 2001                          |              |              |              |              |
| KfW-Programm Energieeffizient Bauen                         | F        | monetäre Förderung                     | ab 2005                          |              |              |              |              |
| <i>KfW-CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramm</i>         | <i>F</i> | <i>monetäre Förderung</i>              |                                  | <i>130,5</i> | <i>130,5</i> | <i>184,5</i> | <i>238,5</i> |
| Marktanreizprogramm - Biomasse                              | F        | monetäre Förderung                     | ab 1996                          |              |              |              |              |
| Marktanreizprogramm - Solar                                 | F        | monetäre Förderung                     | ab 1996                          |              |              |              |              |
| Marktanreizprogramm - Wärmepumpe                            | F        | monetäre Förderung                     | ab 2008                          |              |              |              |              |
| Marktanreizprogramm - Wärmenetze                            | F        | monetäre Förderung                     | ab 2008                          |              |              |              |              |
| <i>Marktanreizprogramm - Erneuerbare Energien</i>           | <i>F</i> | <i>monetäre Förderung</i>              |                                  | <i>-9,6</i>  | <i>-9,6</i>  | <i>-13,8</i> | <i>-18,0</i> |
| Städtebauförderprogramm - Stadtumbau Ost                    | F        | monetäre Förderung                     | ab 2002                          | 4,4          | 4,4          | 6,3          | 8,3          |
| Städtebauförderprogramm - Stadtumbau West                   | F        | monetäre Förderung                     | ab 2004                          |              |              |              |              |
| Städtebauförderprogramm - Aktive Stadt- und Ortsteilzentren | F        | monetäre Förderung                     | ab 2008                          |              |              |              |              |
| Soziale Wohnraumförderung                                   | F        | monetäre Förderung                     | ab 2001                          |              |              |              |              |
| EnEV 2009 (gegenüber EnEV 2007)                             | R        | Ordnungsrecht                          | ab 10/2009                       | 19,0         | 35,5         | 52,3         | 69,3         |
| EEWärmeG 2011 (durch Neubau)                                | R        | Ordnungsrecht                          | ab 2009                          | 3,7          | 5,3          | 6,4          | 7,6          |
| Novellierung der Heizkostenverordnung                       | R        | Ordnungsrecht                          | ab 2009                          | 3,0          | 3,0          | 4,7          | 6,3          |
| Energieberatung vor Ort                                     | F        | monetäre Förderung                     | ab 2006                          | 5,7          | 5,7          | 8,1          | 10,4         |
| <i>Abzüge wegen Überschneidungen</i>                        |          |  |                                  | <i>22,7</i>  | <i>40,7</i>  | <i>58,7</i>  | <i>76,8</i>  |
| Ungewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen        |          |  |                                  | 156,7        | 174,7        | 248,5        | 322,4        |
| Wirkungen der Einzelmaßnahmen (ohne Überlagerungseffekte)   |          |  |                                  | 134,0        | 134,0        | 189,8        | 245,5        |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

Tab. 3-47: Entwicklung des Endenergiebedarfs nach Energieträgern im EWS bis 2030

| Energieträger              | 1990  | 2000  | 2008  | 2015  | 2020  | 2025  | 2030  |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                            | in PJ |       |       |       |       |       |       |
| Gas gesamt                 | 621   | 975   | 965   | 894   | 816   | 702   | 563   |
| Erdgas                     | 621   | 975   | 965   | 875   | 762   | 623   | 483   |
| Biogas-Zumischung (NawaRo) | 0     | 0     | 0     | 18    | 51    | 70    | 64    |
| Biogas-Zumischung (Abfall) | 0     | 0     | 0     | 1     | 3     | 8     | 13    |
| Gas mit SNG aus Holz       | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 3     |
| Heizöl                     | 740   | 779   | 649   | 521   | 380   | 214   | 48    |
| Steinkohle                 | 25    | 20    | 24    | 19    | 16    | 13    | 9     |
| Steinkohlenkoks            | 13    | 8     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     |
| Braunkohle                 | 351   | 20    | 20    | 14    | 11    | 7     | 3     |
| Biomasse                   | 39    | 165   | 204   | 262   | 314   | 363   | 411   |
| Solarenergie               | 0     | 3     | 10    | 24    | 35    | 44    | 53    |
| Umweltwärme                | 0     | 4     | 15    | 39    | 60    | 82    | 103   |
| Strom                      | 103   | 114   | 122   | 104   | 83    | 61    | 38    |
| Fern- und Nahwärme         | 160   | 131   | 164   | 174   | 182   | 192   | 201   |
| Summe                      | 2.052 | 2.220 | 2.175 | 2.054 | 1.898 | 1.677 | 1.430 |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

Tab. 3-48: Entwicklung der im EWS gegenüber dem APS zusätzlich eingesparten Endenergie nach Energieträgern bis 2030

| Energieträger              | 1990  | 2000 | 2008 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|----------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|
|                            | in PJ |      |      |      |      |      |      |
| Gas gesamt                 | 0     | 0    | 0    | 24   | 56   | 124  | 217  |
| Erdgas                     | 0     | 0    | 0    | 34   | 97   | 184  | 273  |
| Biogas-Zumischung (NawaRo) | 0     | 0    | 0    | -9   | -39  | -55  | -47  |
| Biogas-Zumischung (Abfall) | 0     | 0    | 0    | 0    | -2   | -6   | -10  |
| Gas mit SNG aus Holz       | 0     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| Heizöl                     | 0     | 0    | 0    | 43   | 115  | 212  | 310  |
| Steinkohle                 | 0     | 0    | 0    | 1    | 2    | 4    | 6    |
| Steinkohlenkoks            | 0     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| Braunkohle                 | 0     | 0    | 0    | 1    | 2    | 4    | 6    |
| Biomasse                   | 0     | 0    | 0    | -20  | -41  | -58  | -74  |
| Solarenergie               | 0     | 0    | 0    | -4   | -8   | -10  | -11  |
| Umweltwärme                | 0     | 0    | 0    | -4   | -9   | -15  | -21  |
| Strom                      | 0     | 0    | 0    | 6    | 15   | 26   | 37   |
| Fern- und Nahwärme         | 0     | 0    | 0    | -2   | -5   | -8   | -12  |
| Summe                      | 0     | 0    | 0    | 44   | 128  | 280  | 458  |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

Die zusätzlichen Energieeinsparungen des EWS gegenüber dem APS sind für die Maßnahmen in der folgenden Tabelle aufgeführt.

**Tab. 3-49: Entwicklung der im EWS gegenüber dem APS zusätzlich eingesparten Endenergie nach Maßnahmen bis 2030**

| Maßnahme  | Typ | Beschreibung / Ziele (Wirkungsbereich) | Umsetzungsstand (Wirkungsbeginn) | Endenergie |       |       |       |
|---|-----|--|----------------------------------|------------|-------|-------|-------|
|   |     |  |                                  | 2015       | 2020  | 2025  | 2030  |
|   |     |  |                                  | in PJ      |       |       |       |
| Stärkung des Vollzugs der EnEV                            | R   | Ordnungsrecht                          | ab 2013                          |            |       |       |       |
| Steuerliche Absetzbarkeit                                 | F   | monetäre Förderung                     | ab 2013                          | 18,5       | 84,0  | 195,1 | 310,0 |
| Vereinfachung der Sanierungen im Mietwohnungsmarkt        | R   | Ordnungsrecht                          | ab 2013                          |            |       |       |       |
| Novellierungen der EnEV 2009                              | R   | Ordnungsrecht                          | ab 2013                          | 7,5        | 23,7  | 48,5  | 73,5  |
| Novellierung EEWärmeG                                     | R   | monetäre Förderung                     | ab 2013                          | 6,2        | 20,7  | 36,0  | 44,5  |
| Stärkung des Marktanzreizprogramms EE                     | F   | monetäre Förderung                     | ab 2013                          | -1,4       | -3,2  | -4,9  | -6,7  |
| Erhöhung der Effizienzstandards der KfW-Programme         | F   | monetäre Förderung                     | ab 2013                          | 10,0       | 22,6  | 47,7  | 72,8  |
| Vermehrte Anordnung eines Fernwärmeanschlusszwangs        | R   | Ordnungsrecht                          | ab 2013                          | 14,5       | 32,8  | 51,5  | 70,1  |
| Bonusförderung der Einspeisung EE in Wärmenetze           | F   | Ordnungsrecht                          | ab 2013                          | 1,9        | 4,3   | 6,7   | 9,0   |
| Ökodesignrichtlinie - Dfm. Heizungssysteme                | F   | monetäre Förderung                     | ab 2013                          | 3,1        | 21,0  | 38,2  | 53,8  |
| Steigerung der Nachrüstverpflichtungen der EnEV           | R   | Ordnungsrecht                          | ab 2013                          | 5,7        | 17,0  | 28,0  | 37,9  |
| Wärme-Contracting im Mietwohnungsmarkt                    | F   | monetäre Förderung                     | ab 2013                          | 3,6        | 10,9  | 17,9  | 24,3  |
| Förderprogramm Energetische Städtebausanierung            | F   | monetäre Förderung                     | ab 2013                          | 5,0        | 11,3  | 17,6  | 23,9  |
| Ausbau der Städtebauförderung                             | F   | monetäre Förderung                     | ab 2013                          | 1,8        | 3,7   | 5,6   | 7,43  |
| Bestandsersatz als KfW-Programmvariante                   | F   | monetäre Förderung                     | ab 2013                          | 0,2        | 1,8   | 3,1   | 4,41  |
| Änderung des KfW-Wohneigentumprogramms                    | F   | monetäre Förderung                     | ab 2013                          | 1,7        | 2,4   | 2,8   | 3,15  |
| Beschränkung des Programms Energieeffizient Bauen         | F   | monetäre Förderung                     | ab 2013                          | 0,9        | 3,0   | 3,0   | 2,96  |
| Abzüge wegen Überschneidungen                             |     |  |                                  | 35,7       | 128,2 | 216,9 | 273,4 |
| Ungewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen      |     |  |                                  | 79,4       | 256,0 | 496,6 | 731,1 |
| Wirkungen der Einzelmaßnahmen (ohne Überlagerungseffekte) |     |  |                                  | 43,7       | 127,8 | 279,7 | 457,7 |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

### Vergleich der Emissionsentwicklungen in den Szenarien

In der Tab. 3-50 ist die Emissionsentwicklung für die Bereiche Raumwärme und Warmwasser der privaten Haushalte aufgeführt.

Durch die im Aktuelle-Politik-Szenario analysierten Maßnahmen verringern sich die Treibhausgasemissionen von 2008 bis 2020 um rund 18,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. auf 89 Mio. t und bis 2030 um weitere ca. 15 Mio. t CO<sub>2</sub> auf etwa 74 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. Das entspricht für die gesamten Emissionseinsparungen einer Minderungsrate von 17 % bzw. 31,5 % für den Zeitraum 2008 bis 2020

bzw. 2030. Bezogen auf das Basisniveau von 1990 ergeben sich Emissionsminderungen von 32 % (2020) und 44 % (2030). Mit Bezug auf das – für die Verpflichtungen im Rahmen der EU besonders relevante Jahr 2005 gehen die Treibhausgasemissionen bis 2020 um etwa 20 % und bis 2030 um etwa 34 % zurück.

Die untersuchten Instrumente des Energiewende-Szenarios senken die Treibhausgasemissionen im Sektor Private Haushalte im Vergleich zum Aktuelle-Politik-Szenario bis 2020 bzw. 2030 um weitere knapp 15 bzw. gut 37 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. auf insgesamt 74,6 bzw. 36 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. (Tab. 3-50). Im Vergleich zum Jahr 1990 entspricht dies einer Reduzierung der gesamten Emissionen bis 2020 von 43 % und bis 2030 von etwa 72 %. Bezogen auf das Emissionsniveau des Jahres 2005 resultieren Emissionsminderungen von 33 % bis 2020 sowie 67,5 % bis 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.

**Tab. 3-50: Emissionsentwicklungen für den Sektor Private Haushalte durch Maßnahmen im Bereich Raumwärme und Warmwasser im Zeitraum im Vergleich der Szenarien, 1990-2030**

|  | 1990                     | 2005    | 2008    | 2015                     | 2020   | 2025   | 2030   |
|--|--------------------------|---------|---------|--------------------------|--------|--------|--------|
|  | kt CO <sub>2</sub> -Äqu. |         |         |                          |        |        |        |
| CO <sub>2</sub> -Emissionen                              |                          |         |         |                          |        |        |        |
| Entwicklung 1990 - 2008                                  | 129.474                  | 111.074 | 106.761 |                          |        |        |        |
| Aktuelle-Politik-Szenario                                |                          |         |         | 95.838                   | 88.152 | 80.368 | 72.648 |
| Energiewende-Szenario                                    |                          |         |         | 90.825                   | 73.477 | 53.416 | 35.158 |
| CH <sub>4</sub> -Emissionen                              |                          |         |         |                          |        |        |        |
| Entwicklung 1990 - 2008                                  | 1.200                    | 502     | 567     |                          |        |        |        |
| Aktuelle-Politik-Szenario                                |                          |         |         | 638                      | 692    | 746    | 800    |
| Energiewende-Szenario                                    |                          |         |         | 660                      | 744    | 830    | 916    |
| N <sub>2</sub> O-Emissionen                              |                          |         |         |                          |        |        |        |
| Entwicklung 1990 - 2008                                  | 802                      | 363     | 399     |                          |        |        |        |
| Aktuelle-Politik-Szenario                                |                          |         |         | 380                      | 370    | 361    | 351    |
| Energiewende-Szenario                                    |                          |         |         | 373                      | 350    | 320    | 290    |
| Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O |                          |         |         |                          |        |        |        |
| Entwicklung 1990 - 2008                                  | 131.476                  | 111.939 | 107.727 |                          |        |        |        |
| Aktuelle-Politik-Szenario                                |                          |         |         | 96.857                   | 89.214 | 81.475 | 73.799 |
| Energiewende-Szenario                                    |                          |         |         | 91.858                   | 74.570 | 54.566 | 36.364 |
| Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O |                          |         |         | Veränderung ab 1990 in % |        |        |        |
| Aktuelle-Politik-Szenario                                |                          |         |         | -26,3                    | -32,1  | -38,0  | -43,9  |
| Energiewende-Szenario                                    |                          |         |         | -30,1                    | -43,3  | -58,5  | -72,3  |
| Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O |                          |         |         | Veränderung ab 2005 in % |        |        |        |
| Aktuelle-Politik-Szenario                                |                          |         |         | -13,5                    | -20,3  | -27,2  | -34,1  |
| Energiewende-Szenario                                    |                          |         |         | -17,9                    | -33,4  | -51,3  | -67,5  |

Quelle: UBA (2011 a+b), IEK-STE und Öko-Institut.

### **3.3 Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) - Raumwärme und Warmwasser**

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 aggregierter behandelt. Es erfolgt eine Top-Down-Rechnung mit den im Bereich der Privaten Haushalte festgelegten szenarioabhängigen energetischen Sanierungsraten. Diese Analysen erfolgen ebenfalls mit dem STE-Gebäudesimulationsmodell.

#### **3.3.1 Rahmendaten**

Eine detaillierte statistische Datenerhebung für den Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) liegt derzeit nicht vor. Aus diesem Grund werden im Rahmen des STE-Gebäudesimulationsmodells, das auch in diesem Sektor angewendet wird, zusätzliche Statistiken und Projektergebnisse wie Schloman et al. (2011) zur Beschreibung der Datenstruktur eingesetzt.

Den Analysen liegen die Rahmenbedingungen 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.

#### **Energetische Sanierungsrate**

Es werden die gleichen Szenarien wie für die Privaten Haushalte gerechnet. Die Ausschöpfung der Sanierungspotenziale, die durch die energetische Sanierungsrate<sup>19</sup> gekennzeichnet wird, ist im Aktuelle-Politik-Szenario mit jährlich 1 % pro Jahr berücksichtigt. Im EWS wird unterstellt, dass insbesondere ein verbesserter Vollzug der EnEV und weitere Verschärfungen der Energiestandards der EnEV 2009 zu einem Anstieg der energetischen Sanierungsrate auf jährlich 2 % bis 2020 beitragen. Ab 2020 verbleibt die energetische Sanierungsrate bis zum Jahr 2030 auf diesem verdoppelten Niveau.

#### **Endenergieverbrauch 2008**

Der Endenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser im Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) wurde für das Ausgangsjahr 2008 auf der Basis der Anwendungsbilanzen von BMWi (2011) ermittelt. Dieser Endenergieverbrauch von 796 PJ entspricht 55,1 % des gesamten Energieverbrauchs (50,6 % Raumwärme und 4,5 % Warmwasser) in 2008 und weicht nur geringfügig von den Angaben in Schloman et al. (2011) ab.

---

<sup>19</sup> Die jährliche Sanierungsrate legt den Anteil der Wohnfläche fest, der aufgrund der technischen Lebensdauer der Bauteile der Gebäudehülle zu sanieren ist. Dabei ist zu unterscheiden zwischen Instandhaltungsarbeiten, die zu keiner energetischen Verbesserung beitragen und energetischen Sanierungen gemäß den Vorgaben der gültigen Energie-Einsparverordnung (EnEV). In der vorliegenden Arbeit bezieht sich die energetische Sanierungsrate und somit der Anteil der jährlich zu sanierenden Fläche auf den Wohnflächenbestand bis einschließlich 1994.

### Flächenbestand

Die Beschreibung des Gebäude- und Flächenbestands erfolgt aufgrund der mangelnden statistischen Erfassung auf der Grundlage der im IKARUS-Projekt entwickelten Gebäudedatenbank. Diese Datenbank basiert auf dem Ausgangsjahr 2000 und beinhaltet 28 verschiedene Typgebäude. Eine maßgebliche Bedarfsdeterminante stellt dabei neben der Bevölkerungs- und Beschäftigungsentwicklung die beheizte Fläche dar. Dieser Flächenbestand wird mittels einer Abrissrate von 0,4 % pro Jahr und einer gegenüber den privaten Haushalten verdoppelten Neubaurate bis 2030 fortgeschrieben. Insgesamt verändert sich nach diesen Annahmen die gesamte beheizte Fläche im GHD-Sektor von rund 1,25 Mrd. m<sup>2</sup> in 2008 auf 1,2 Mrd. m<sup>2</sup> bis 2020 und auf 1,15 Mrd. m<sup>2</sup> bis 2030. Diese Flächenentwicklung weicht nur geringfügig von den Angaben in Schloman et al. (2011) und Beer et al. (2009) ab.

### 3.3.2 Ergebnisse der Projektionen

#### Vorbemerkungen

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

Die Entwicklung der Vergangenheitswerte liegt bis 2008 vor. Für das Jahr 2009, welches als Ausgangsjahr für die Szenarioanalysen dient, muss das Ausgangsniveau der CO<sub>2</sub>-Emissionen ermittelt werden.

#### Vergleich des Endenergiebedarfs in den Szenarien

Die Entwicklung des Endenergiebedarfs für die Bereiche Raumwärme und Warmwasser ist in der Tab. 3-51 inklusive Fernwärme und Strom aufgeführt. Der Endenergieverbrauch sinkt gegenüber 1990 (bzw. 2008) bis zum Jahr 2020 im Aktuelle-Politik-Szenario um 23 % (bzw. 7 %) und im EWS um 28 % (bzw. 14 %). Bis 2030 kann der Endenergieverbrauch gegenüber 2008 im Aktuelle-Politik-Szenario um 15 % und im EWS um 34 % vermindert werden.

Tab. 3-51: Entwicklung des Endenergiebedarfs in den Szenarien bis 2030

|                         | 1990                     | 2000 | 2008 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|-------------------------|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
|                         | in PJ                    |      |      |      |      |      |      |      |
| Entwicklung 1990 - 2008 | 941                      | 837  | 796  |      |      |      |      |      |
| APS                     |                          |      |      | 785  | 759  | 728  | 697  | 666  |
| EWS                     |                          |      |      | 784  | 740  | 675  | 595  | 516  |
|                         | Veränderung ab 1990 in % |      |      |      |      |      |      |      |
| APS                     |                          |      |      | -17  | -19  | -23  | -26  | -29  |
| EWS                     |                          |      |      | -17  | -21  | -28  | -37  | -45  |
|                         | Veränderung ab 2008 in % |      |      |      |      |      |      |      |
| APS                     |                          |      |      | -1   | -5   | -9   | -12  | -16  |
| EWS                     |                          |      |      | -1   | -7   | -15  | -25  | -35  |

Quelle: UBA (2011a+b), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI, IEK-STE und Öko-Institut.

Der Einsatz der fossilen Energieträger Erdgas, Heizöl und Kohle geht nach den Berechnungen im Aktuelle-Politik-Szenario gegenüber dem Jahr 2008 bis zum Jahr 2030 um insgesamt 158 PJ zurück. Im EWS sinkt der Verbrauch fossiler Energieträger bis 2030 um mehr als 350 PJ. Mehr als 45 % der Endenergieeinsparungen dieser fossilen Energieträger können auf den Rückgang des Einsatzes von Heizöl zurückgeführt werden (vgl. Tab. 3-52 und Tab. 3-53).

Tab. 3-52: Entwicklung des Endenergiebedarfs nach Energieträgern im APS bis 2030

| Energieträger              | 1990  | 2000 | 2008 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|----------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|
|                            | in PJ |      |      |      |      |      |      |
| Gas gesamt                 | 264   | 397  | 369  | 356  | 344  | 332  | 321  |
| Erdgas                     | 264   | 397  | 369  | 352  | 339  | 325  | 311  |
| Biogas-Zumischung (NawaRo) | 0     | 0    | 0    | 3    | 5    | 6    | 7    |
| Biogas-Zumischung (Abfall) | 0     | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    |
| Gas mit SNG aus Holz       | 0     | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    |
| Heizöl                     | 380   | 250  | 214  | 183  | 162  | 140  | 118  |
| Steinkohle                 | 25    | 10   | 11   | 10   | 9    | 8    | 8    |
| Steinkohlenkoks            | 0     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| Braunkohle                 | 52    | 2    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| Biomasse                   | 0     | 4    | 7    | 12   | 16   | 19   | 23   |
| Solarenergie               | 0     | 1    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    |
| Umweltwärme                | 0     | 1    | 3    | 7    | 9    | 11   | 14   |
| Strom                      | 97    | 87   | 41   | 36   | 31   | 26   | 22   |
| Fern- und Nahwärme         | 122   | 85   | 147  | 150  | 152  | 153  | 155  |
| Summe                      | 941   | 837  | 796  | 759  | 728  | 697  | 666  |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

Tab. 3-53: Entwicklung des Endenergiebedarfs nach Energieträgern im EWS bis 2030

| Energieträger              | 1990  | 2000 | 2008 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|----------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|
|                            | in PJ |      |      |      |      |      |      |
| Gas gesamt                 | 264   | 397  | 369  | 344  | 316  | 280  | 246  |
| Erdgas                     | 264   | 397  | 369  | 337  | 295  | 249  | 213  |
| Biogas-Zumischung (NawaRo) | 0     | 0    | 0    | 7    | 20   | 28   | 26   |
| Biogas-Zumischung (Abfall) | 0     | 0    | 0    | 0    | 1    | 3    | 5    |
| Gas mit SNG aus Holz       | 0     | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    |
| Heizöl                     | 380   | 250  | 214  | 170  | 126  | 72   | 19   |
| Steinkohle                 | 25    | 10   | 11   | 9    | 8    | 7    | 6    |
| Steinkohlenkoks            | 0     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| Braunkohle                 | 52    | 2    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| Biomasse                   | 0     | 4    | 7    | 16   | 26   | 36   | 46   |
| Solarenergie               | 0     | 1    | 3    | 5    | 7    | 9    | 10   |
| Umweltwärme                | 0     | 1    | 3    | 8    | 12   | 16   | 20   |
| Strom                      | 97    | 87   | 41   | 35   | 27   | 19   | 10   |
| Fern- und Nahwärme         | 122   | 85   | 147  | 151  | 153  | 156  | 158  |
| Summe                      | 941   | 837  | 796  | 740  | 675  | 595  | 516  |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

Tab. 3-54: Entwicklung der im EWS gegenüber dem APS zusätzlich eingesparten Endenergie nach Energieträgern bis 2030

| Energieträger              | 1990  | 2000 | 2008 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|----------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|
|                            | in PJ |      |      |      |      |      |      |
| Gas gesamt                 | 0     | 0    | 0    | -11  | -28  | -52  | -75  |
| Erdgas                     | 0     | 0    | 0    | -15  | -44  | -76  | -98  |
| Biogas-Zumischung (NawaRo) | 0     | 0    | 0    | 4    | 15   | 22   | 19   |
| Biogas-Zumischung (Abfall) | 0     | 0    | 0    | 0    | 1    | 2    | 4    |
| Gas mit SNG aus Holz       | 0     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| Heizöl                     | 0     | 0    | 0    | -13  | -36  | -68  | -99  |
| Steinkohle                 | 0     | 0    | 0    | 0    | -1   | -1   | -2   |
| Steinkohlenkoks            | 0     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| Braunkohle                 | 0     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| Biomasse                   | 0     | 0    | 0    | 4    | 10   | 17   | 24   |
| Solarenergie               | 0     | 0    | 0    | 1    | 2    | 3    | 4    |
| Umweltwärme                | 0     | 0    | 0    | 1    | 3    | 5    | 7    |
| Strom                      | 0     | 0    | 0    | -2   | -4   | -8   | -11  |
| Fern- und Nahwärme         | 0     | 0    | 0    | 1    | 2    | 3    | 4    |
| Summe                      | 0     | 0    | 0    | -19  | -53  | -103 | -150 |

Quelle: Eigene Berechnungen des IEK-STE.

### Vergleich der Emissionsentwicklungen in den Szenarien

In der Tab. 3-55 ist die Emissionsentwicklung für den Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) aufgeführt. Erfasst sind dabei nicht nur die Emissionen der Bereiche Raumwärme und Warmwasser, sondern auch die Prozessemissionen, die im Kapitel 3.3 gesondert untersucht werden. Vor dem Hintergrund des Sachverhalts, dass die Treibhausgasemissionen aus der Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser für den GHD-Sektor den überwiegenden Teil der Emissionen verursachen und dass differenzierte Daten in der historischen Zeitreihe nicht vorliegen, werden die Ergebnisse beider Analysegänge hier zusammenfassend präsentiert.

Im Aktuelle-Politik-Szenario verringern sich die Treibhausgasemissionen von 2008 bis 2020 um rund 7 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. auf knapp 42 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. und bis 2030 um weitere ca. 7 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. auf knapp 35 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. Das entspricht für die gesamten Emissionseinsparungen einer Minderungsrate von fast 15 % bzw. knapp 29 % für den Zeitraum 2008 bis 2020 bzw. 2030. Bezogen auf das Basisniveau von 1990 ergeben sich Emissionsminderungen von 53 % (2020) und 59 % (2030). Im Vergleich zum Basisjahr 2005 betragen die Emissionsminderungen hier 13 % für das Jahr 2020 bzw. etwa 27 % für das Jahr 2030.

Im Energiewende-Szenario sinken die Treibhausgasemissionen im Vergleich zum Aktuelle-Politik-Szenario bis 2020 bzw. 2030 um weitere 6 bzw. 15 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. auf insgesamt 36 bzw. 20 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. Im Vergleich zum Jahr 1990 entspricht dies einer Reduzierung der gesamten Emissionen bis 2020 von rund 60 % und bis 2030 von etwa 77 %. Bezogen auf das Emissionsniveau von 2008 ergeben sich Treibhausgaseminderungen von 27 % (2020) bzw. etwa 59 % (2030). Im Vergleich zum Basisjahr 2005 gehen die gesamten Treibhausgasemissionen bis 2020 um 25,5 % und bis 2030 um 58 % zurück.

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.

Tab. 3-55: Emissionsentwicklungen im GHD-Sektor im Vergleich der Szenarien, 1990-2030

|  | 1990                     | 2005   | 2008   | 2015                     | 2020   | 2025   | 2030   |
|--|--------------------------|--------|--------|--------------------------|--------|--------|--------|
|  | kt CO <sub>2</sub> -Äqu. |        |        |                          |        |        |        |
| CO <sub>2</sub> -Emissionen                              |                          |        |        |                          |        |        |        |
| Entwicklung 1990 - 2008                                  | 86.820                   | 47.664 | 48.564 |                          |        |        |        |
| Aktuelle-Politik-Szenario                                |                          |        |        | 44.639                   | 41.431 | 38.063 | 34.639 |
| Energiewende-Szenario                                    |                          |        |        | 42.399                   | 35.430 | 27.410 | 19.938 |
| CH <sub>4</sub> -Emissionen                              |                          |        |        |                          |        |        |        |
| Entwicklung 1990 - 2008                                  | 1.629                    | 72     | 93     |                          |        |        |        |
| Aktuelle-Politik-Szenario                                |                          |        |        | 87                       | 86     | 84     | 82     |
| Energiewende-Szenario                                    |                          |        |        | 91                       | 96     | 101    | 103    |
| N <sub>2</sub> O-Emissionen                              |                          |        |        |                          |        |        |        |
| Entwicklung 1990 - 2008                                  | 256                      | 141    | 159    |                          |        |        |        |
| Aktuelle-Politik-Szenario                                |                          |        |        | 146                      | 137    | 127    | 116    |
| Energiewende-Szenario                                    |                          |        |        | 141                      | 124    | 104    | 83     |
| Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O |                          |        |        |                          |        |        |        |
| Entwicklung 1990 - 2008                                  | 88.706                   | 47.877 | 48.817 |                          |        |        |        |
| Aktuelle-Politik-Szenario                                |                          |        |        | 44.872                   | 41.654 | 38.274 | 34.837 |
| Energiewende-Szenario                                    |                          |        |        | 42.632                   | 35.650 | 27.614 | 20.124 |
| Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O |                          |        |        | Veränderung ab 1990 in % |        |        |        |
| Aktuelle-Politik-Szenario                                |                          |        |        | -49,4                    | -53,0  | -56,9  | -60,7  |
| Energiewende-Szenario                                    |                          |        |        | -51,9                    | -59,8  | -68,9  | -77,3  |
| Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O |                          |        |        | Veränderung ab 2005 in % |        |        |        |
| Aktuelle-Politik-Szenario                                |                          |        |        | -6,3                     | -13,0  | -20,1  | -27,2  |
| Energiewende-Szenario                                    |                          |        |        | -11,0                    | -25,5  | -42,3  | -58,0  |
| Anmerkungen: ohne bauwirtschaftlichen Verkehr            |                          |        |        |                          |        |        |        |

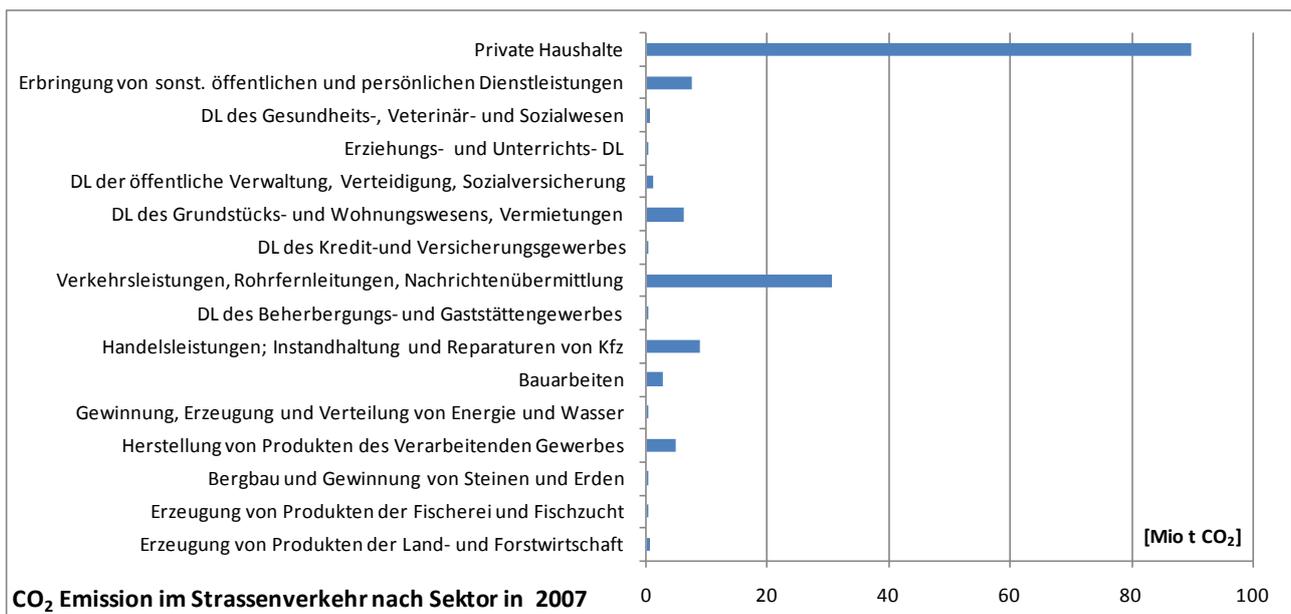
Quelle: UBA (2011a+b), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI, IEK-STE und Öko-Institut

### 3.4 Verkehr

Die Abschätzungen für den Verkehrssektor erfolgen auf Basis einer Kombination der Modellierung mit TREMOD (Version 5, IFEU (2010)) und ASTRA. TREMOD stellt hierbei die verkehrlichen und energetischen Ausgangsdaten für das Aktuelle Politik-Szenario (APS) zur Verfügung. ASTRA setzt auf diesen Ergebnissen auf und wird genutzt, um die Effekte der einzelnen Maßnahmen abzuschätzen. Die verwendete Modellversion von ASTRA wurde im Projekt GHG-TransPoRD entwickelt (<http://www.ghg-transpord.eu/>) und eignet sich insbesondere dadurch, dass Implementierungen von Maßnahmen in GHG-TransPoRD angelegt wurden und mit PSz-VI-spezifischen Modifikationen für die Analysen von Maßnahmen in Deutschland nutzbar sind.

Auf den Straßenverkehr entfällt mit Abstand der größte Teil der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs. Nimmt man als Basis das Territorialprinzip beläuft sich der Anteil des Straßenverkehrs auf knapp 94% der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs. Zur Verdeutlichung der Bedeutung der unterschiedlichen Sektoren für die Emission von Treibhausgasen aus dem Straßenverkehr kann die sektorale Aufschlüsselung aus der umweltökonomischen Gesamtrechnung für 2007 herangezogen werden. Auf die privaten Haushalte entfallen dabei fast 60 % aller Emissionen (89,8 Mio. t CO<sub>2</sub>) gefolgt von den Verkehrsdienstleistungen mit knapp 20 % (30.6 Mio. t CO<sub>2</sub>).

Abb. 3-4: CO<sub>2</sub> Emissionen des Straßenverkehrs nach ökonomischen Sektoren für 2007



Quelle: Eigene Darstellung nach Umweltökonomischer Gesamtrechnung (Destatis 2009)

#### 3.4.1 Rahmendaten

##### Aktuelle-Politik-Szenario

Die Rahmendaten des Verkehrssektors entstammen der neuesten Version von TREMOD (Version 5.1, aufbauend auf IFEU (2010) mit Aktualisierungen aus Version 5.24). Diese setzt auf den aktuellsten Prognosen des BMVBS auf (Verflechtungsprognose 2025, BMVBS (2007)), korrigiert diese um die Wirkungen der Finanz- und Wirtschaftskrise von 2008/2009 und extrapoliert die Ergebnisse unter verkehrsträgerspezifischen Annahmen von 2025 bis 2030. Es ergeben sich die

Rahmendaten zum Verkehrssektor für die Verkehrsleistungen und die Fahrleistungen wie in Tab. 3-56 und Tab. 3-57 dargestellt.

Tab. 3-56: Verkehrsleistung im Personen- und Güterverkehr

|                        | 2010     | 2015    | 2020    | 2025    | 2030    |
|------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|
| <b>Personenverkehr</b> | Mrd. Pkm |         |         |         |         |
| Busse                  | 84,7     | 91,6    | 97,5    | 103,5   | 104,4   |
| mot. Zweiräder         | 16,4     | 16,8    | 17,9    | 18,5    | 18,6    |
| PKW                    | 868,2    | 916,2   | 963,5   | 1.011,2 | 1.012,1 |
| Bahn                   | 98,8     | 100,6   | 104,5   | 108,2   | 110,0   |
| Flug(*)                | 203,4    | 244,0   | 292,9   | 351,7   | 422,4   |
| Gesamt                 | 1.271,6  | 1.369,2 | 1.476,2 | 1.593,1 | 1.667,5 |
| <b>Güterverkehr</b>    | Mrd. Tkm |         |         |         |         |
| Straße (**)            | 459,0    | 544,4   | 629,8   | 715,2   | 800,6   |
| Bahn                   | 106,0    | 122,3   | 138,6   | 154,9   | 171,2   |
| Binnenschiff           | 56,0     | 64,1    | 72,1    | 80,2    | 88,3    |
| Flug(*)                | 9,3      | 11,3    | 13,8    | 16,7    | 20,3    |
| Gesamt                 | 630,3    | 742,0   | 854,2   | 967,0   | 1.080,3 |

Quellen: IFEU (2010).

Tab. 3-57: Fahrleistung im Personen- und Güterverkehr auf der Straße

|                        | 2010        | 2015  | 2020  | 2025  | 2030  |
|------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Personenverkehr</b> | Mrd. Fzg-km |       |       |       |       |
| Busse                  | 3,8         | 3,8   | 3,8   | 3,8   | 3,8   |
| mot. Zweiräder         | 15,0        | 15,6  | 16,1  | 16,7  | 16,7  |
| PKW                    | 579,8       | 610,5 | 641,3 | 672,0 | 673,0 |
| <b>Güterverkehr</b>    | Mrd. Fzg-km |       |       |       |       |
| LNF(*)                 | 37,6        | 40,5  | 43,4  | 46,4  | 49,3  |
| SNF(**)                | 54,7        | 62,7  | 70,8  | 78,9  | 87,0  |

Quellen: IFEU (2010).

Der Endenergieverbrauch im Verkehr lässt sich aus TREMOD 5.1 unter bestimmten Annahmen konsistent mit den Verkehrs- und Fahrleistungen ableiten, da insbesondere die Maßnahmen im Straßenverkehr in TREMOD 5.1 und in diesem Projekt konsistent gesetzt wurden. Unterschiede zu TREMOD 5.1 ergeben sich durch die Maßnahmen f)g)j) für den Luftverkehr, sowie Maßnahme 0 zur Einführung der Elektromobilität:

- Einbeziehung des Luftverkehrs in den EU-Emissionshandel.
- Einführung der Luftverkehrsteuer im Luftverkehr.
- Umsetzung des ICAO-Effizienzzieles von 2 % jährlicher Effizienzverbesserung bis 2050.
- Implementierung der Strategie Elektromobilität mit dem Ziel, 1 Million Elektrofahrzeuge bis 2020 auf Deutschlands Straßen zu haben.

Unter der Annahme, dass sich die Veränderungen der Luftverkehrsnachfrage bei den Flugbewegungen kompensieren (Verringerung Nachfrage durch EU-ETS und Luftverkehrsteuer und Erhöhung der Nachfrage durch ICAO-Effizienzziele), sowie dass die Einführung der Elektrofahrzeuge nur zum Wandel der Flottenstruktur aber nicht zu einem Modal-Shift führt, ergibt sich der in Tab. 3-58 dargestellte Endenergieverbrauch des Verkehrs im APS. Er basiert auf den Daten aus TREMOD 5.1 (IFEU 2010) und dem Zentralen System Emissionen (ZSE) (UBA 2011b). Diese wurden wie vorstehend beschrieben korrigiert um die Maßnahmenwirkung der vier vorgeannten Maßnahmen.

Tab. 3-58: Endenergieverbrauch im Verkehr im APS

| Energieträger                   | 2010         | 2015         | 2020         | 2025         | 2030         |
|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                                 | in PJ        |              |              |              |              |
| Benzin                          | 803          | 628          | 500          | 420          | 351          |
| Diesel                          | 1.139        | 1.240        | 1.252        | 1.229        | 1.173        |
| Kerosin (national)              | 26,6         | 24,3         | 23,6         | 22,9         | 22,1         |
| LPG                             | 19,0         | 19,1         | 11,6         | 9,1          | 8,6          |
| Erdgas                          | 11,3         | 23,4         | 33,1         | 34,2         | 28,7         |
| (Bio-) Ethanol                  | 32,6         | 46,5         | 55,4         | 46,5         | 38,9         |
| FAME                            | 87           | 153          | 188          | 184          | 176          |
| Pflanzenöl                      | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          |
| Methanol                        | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          |
| Wasserstoff                     | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          |
| Andere Mineralölprodukte        | 2,0          | 2,0          | 2,0          | 2,0          | 2,0          |
| Braunkohlen                     | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          |
| Steinkohlen                     | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          |
| Strom                           | 45           | 45           | 51           | 61           | 77           |
| <b>Summe</b>                    | <b>2.165</b> | <b>2.181</b> | <b>2.117</b> | <b>2.009</b> | <b>1.877</b> |
| Schmierstoff (Int. Flugverkehr) | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| Kerosin (Int. Flugverkehr)      | 336          | 391          | 436          | 487          | 542          |
| Summe (incl. Flugverkehr)       | 2.500        | 2.572        | 2.553        | 2.497        | 2.419        |

Quellen: Fraunhofer-ISI-Berechnungen basierend auf IFEU (2010), UBA (2011b), Öko-Institut et al. (2009)

### Energiewende-Szenario

Die Analyse der Maßnahmen des EWS baut auf den vorstehend beschriebenen Rahmendaten des APS auf hinsichtlich Verkehrs- und Fahrleistungen sowie des Endenergieverbrauches.

#### 3.4.2 Maßnahmen

Für den Verkehrssektor wurde in den letzten Jahren in Deutschland eine Reihe von Maßnahmen ergriffen, die zu einer Senkung der Treibhausgasemissionen geführt haben. Allerdings wurden auch Maßnahmen geplant, die in der gesetzlichen Umsetzung hinsichtlich ihrer Treibhausgaseinsparung schwächer als in der Planungsphase angedacht ausfielen (z. B. CO<sub>2</sub>-basierte Kfz-Steuer) oder sogar wieder zurückgenommen wurden (z. B. Einschränkung bzw. Abschaffung der Entfernungspauschale).

Im Folgenden werden die ergriffenen bzw. vorgeschlagenen Maßnahmen vier Kategorien zugeordnet: Ordnungsrecht, ökonomische Instrumente, freiwillige Maßnahmen und Kennzeich-

nung. Die Ausgestaltung der Maßnahmen wurde im Projektverlauf in Abstimmung mit UBA und BMU konkretisiert bzw. basiert zum Teil auf europäischer bzw. nationaler Gesetzgebung oder auf den in TREMOD hinterlegten Annahmen.

**Aktuelle-Politik-Szenario**

Im Bereich der **ordnungsrechtlichen Maßnahmen** werden für das APS die folgenden Maßnahmen spezifisch analysiert:

- a) **CO<sub>2</sub>-Strategie Pkw:** Entsprechend der EU-Verordnung 443/2009/EG vom April 2009 werden CO<sub>2</sub>-Zielwerte für die durchschnittliche Neuwagenflotte in der gesamten EU definiert. Für 2015 wird ein Zielwert von 130 g CO<sub>2</sub>/km als EU-Durchschnitt vorgegeben, der durch technische Maßnahmen erreicht werden muss, die im Rahmen des NEFZ ermittelt werden können. Eine weitere Reduktion von 10 g CO<sub>2</sub>/km soll durch sogenannte „andere Maßnahmen“ erreicht werden, siehe Tab. 3-59.

**Tab. 3-59: „Andere Maßnahmen“ zur Schließung der 10-g-CO<sub>2</sub>/km-Lücke**

|   |
|---|
| Einführung von Mindeststandards für die Effizienz von Klimaanlage   |
| Einsatz genauer Reifenüberwachungssysteme   |
| Einführung von Obergrenzen für den Reifenrollwiderstand für Reifen<br>Einsatz von Gangwechselanzeigen, unter Berücksichtigung des Ausmaßes, in dem Konsumenten von diesen Einrichtungen in wirklichen Fahrsituationen Gebrauch machen |
| Fortschritte im Kraftstoffverbrauch leichter Nutzfahrzeuge (Lieferwagen) mit dem Ziel der Erreichung von 175 g/km CO <sub>2</sub> bis 2012 und 160 g/km CO <sub>2</sub> bis 2015  |
| Erhöhter Einsatz von Biokraftstoffen  |

Für das Jahr 2020 wird ein Zielwert als EU-Durchschnitt von 95 g CO<sub>2</sub>/km definiert Die Zielsetzung auf EU-Ebene und ihre gesetzliche Umsetzung auf Herstellerebene bedeuten, dass auf EU-Länderebene unterschiedliche Zielwerte erreicht werden müssen, um das gemeinsame EU-Ziel zu erreichen. Zur Abschätzung des spezifischen Zielwertes für Deutschland wurden folgende Rahmenbedingungen berücksichtigt:

- In Deutschland liegt der durchschnittliche CO<sub>2</sub>-Emissionswert rund 7 g CO<sub>2</sub>/km höher als im EU-Durchschnitt.
- Die Umstellung auf eine teilweise CO<sub>2</sub>-basierte Kfz-Steuer in 2009 wird in diese Maßnahmenabschätzung integriert.
- Der Beitrag der Einsparungen durch Biokraftstoffe wird basierend auf der Rechtslage bei Biokraftstoffen separat berechnet und nicht in diesen Zielwert integriert.

Damit ergeben sich folgende Zielwerte der Maßnahme CO<sub>2</sub>-Strategie Pkw für Deutschland: für 2015 eine Reduktion auf 141 g CO<sub>2</sub>/km und für 2020 auf 102 g CO<sub>2</sub>/km in der Neuwagenflotte. Bis 2030 wird eine weitere jährliche Minderung von 1,3 % unterstellt, so dass im Jahr 2030 95 g CO<sub>2</sub>/km erreicht werden.

Durch die Anpassung der Pkw-Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung (Pkw-EnVKV) mit Beschluss vom 8. Juli 2011 im Bundesrat fällt das Pkw-Labeling nun in den Bereich des APS. Diese Maßnahme wird in die CO<sub>2</sub>-Strategie Pkw integriert, da diese Maßnahme im Einzelnen grundsätzlich schwer zu quantifizieren ist.

- b) **CO<sub>2</sub>-Strategie leichte Nutzfahrzeuge (LNF):** Im Dezember 2010 haben der EU-Umweltministerrat und das EU-Parlament eine Einigung über die Verordnung für CO<sub>2</sub>-Grenzwerte für leichte Nutzfahrzeuge (Kategorien N2 und M2) mit Bezugsmasse von maximal 2610 kg erzielt. Diese sieht vor, dass bis 2017 die durchschnittliche Neuwagenflotte der LNF einen CO<sub>2</sub>-Emissionswert von 175 g CO<sub>2</sub>/km erreichen soll, wobei bereits im Jahr 2014 70 % der neuen Transporter diesen CO<sub>2</sub>-Emissionswert einhalten sollen. Bis 2020 soll ein Zielwert von 147 g CO<sub>2</sub>/km eingehalten werden. Entsprechende Maßnahmen für schwere Nutzfahrzeuge (SNF) werden im Rahmen der zusätzlichen Maßnahmen (EWS) behandelt.
- c) **Biokraftstoffquotengesetz und Gesetz zur Änderung der Förderung von Biokraftstoffen:** Die zu erreichenden Zielwerte sind definiert als der energetische Anteil von Biokraftstoffen am Energiegehalt der Gesamtkraftstoffmenge (Fossilkraftstoff zzgl. Biokraftstoffanteil) für 2009 von 5,25 %, und von 2010 bis 2014 von 6,25 %. Ab 2015 wird der Zielwert auf eine Treibhausgasminderungsquote umgestellt. Ab 2015 sollen 3 % Treibhausgase im Verkehr durch Biokraftstoffe eingespart werden, ab 2017 4,5 % und ab 2020 7 %. Nach Berechnungen der Bundesregierung entspräche dieses einem Anteil von rund 12 % Biokraftstoffe gemessen am Energiegehalt und wäre damit kompatibel mit dem 10%-Ziel aus der EU-Erneuerbaren-Richtlinie (RL 2009/28/EG)<sup>20</sup>. Diese Vorgaben sind mit starken Unsicherheiten bzgl. der Entwicklung des gesamten Energieverbrauchs im Verkehr und bzgl. des THG-Einsparpotenzials der tatsächlich verwendeten Biokraftstoffe behaftet. Zu letzterem stellt die EU-Richtlinie eine Mindestanforderung auf: 35 % THG-Einsparungen bis 2016 und ab 2017 50 % Einsparung, wobei neue Anlagen ab 2017 eine THG-Einsparung von 60 % leisten müssen. Für die Zeit nach 2020 liegen keine erhöhten Zielvorgaben vor. Es wird daher von einer Konstanz der absoluten Menge an Biokraftstoffen ausgegangen, d. h. bei anzunehmender sinkender Energienachfrage aus dem Verkehr vergrößert sich der Anteil der Biokraftstoffe weiter.

Im Bereich der **ökonomischen Instrumente** wurden für das Aktuelle-Politik-Szenario folgende Maßnahmen spezifisch analysiert.

- d) **Einführung und Spreizung Lkw-Maut:** Einführung der Lkw-Maut auf Autobahnen im Jahr 2005, seit 2007 zusätzlich auf drei stark frequentierten Bundesstraßen-Abschnitten und seit August 2012 auch auf 1135 km mindestens vierspurigen Bundesstraßen (Kriterium: außerorts, unmittelbare Anbindung an eine Bundesautobahn sowie ein Mindestlänge von vier Kilometern). Die Lkw-Maut gilt für Lkw über 12 t zulässigem Gesamtgewicht bei einer durchschnittlichen Mauthöhe von 2005-2006 0,124 €/Fzkm, 2007-2008 0,135 €/Fzkm und seit 2009 0,163 €/Fzkm). Seit 2009 stärkere Spreizung der Mautsätze der Lkw-Maut (für Dreiachser: 0,141 bzw. 0,169 bzw. 0,190 bzw. 0,274 €/Fzkm je nach Schadstoffklasse; für Vier- und Mehrachser: 0,155 bzw. 0,183 bzw. 0,204 bzw. 0,288 €/Fzkm je nach Schadstoffklasse).
- e) **Reformierte Kfz-Steuer:** Ab 1. Juli 2009 wurde die Kfz-Steuer für Neufahrzeuge auf eine schadstoff-, CO<sub>2</sub>- und hubraumbezogene Bemessungsbasis für Pkw umgestellt. Diese

<sup>20</sup> Das 10%-Ziel der EU ist kein reines Biokraftstoffziel, denn es kann auch EE-Strom im Verkehrsbereich angerechnet werden.

Maßnahme wird nicht separat berechnet, sondern ist in den Abschätzungen zur Maßnahme CO<sub>2</sub>-Strategie Pkw enthalten.

- f) **Emissionshandel Flugverkehr:** Der Flugverkehr von und nach europäischen Ländern ist seit 2012 in den europäischen Emissionshandel (EU-ETS) einbezogen. Damit werden für die Kohlendioxidemissionen des Luftverkehrs CO<sub>2</sub>-Zertifikate benötigt. Diese CO<sub>2</sub>-Emissionen sollen im Jahr 2012 um 3 % gegenüber dem Durchschnitt der Jahre 2004-2006 reduziert werden und ab 2013 um 5 %. Dabei werden ab 2012 mindestens 15 % der Zertifikate versteigert und nicht kostenlos zugeteilt.
- g) **Luftverkehrsteuer im Flugverkehr:** Seit Januar 2011 wird eine LuftVSt. auf jeden von Deutschland ausgehenden Flug erhoben. Die Höhe der Abgabe orientiert sich am Flugziel:
- 8 € je Fluggast für Flüge gemäß Anlage 1 des Gesetzes d.h. innerhalb Deutschlands, in europäische Länder einschließlich Russlands und der Türkei, in EFTA-Staaten sowie Staaten, die in diesem Radius liegen,
  - 25 € je Fluggast für Flüge gemäß Anlage 2 (d. h. bis 6.000 km Flugdistanz zwischen Frankfurt und dem wichtigsten Drehkreuz im jeweiligen Land) des Gesetzes, d.h. in den Nahen und Mittleren Osten, etwa nach Ägypten, Israel, Saudi-Arabien, in die Vereinigten Arabischen Emirate und in einige afrikanische Staaten.
  - 45 € je Fluggast für Flüge in alle übrigen Länder.

Der Tarif wird jährlich derart abgesenkt, dass die Mehreinnahmen aus dem Emissionshandel kompensiert werden. Die Maßnahme wird zusätzlich zum Emissionshandel im Flugverkehr (siehe vorhergehende Maßnahme) eingeführt.

- h) **Strategie zur Elektromobilität:** Die Strategie zur Elektromobilität wird auf Grundlage der gemeinsamen Erklärung von Industrie und Bundesregierung vom 3. Mai 2010 und der nationalen Plattform Elektromobilität konsequent weiterverfolgt (BR 2010). Der Übergang zu elektrisch angetriebenen Fahrzeugen kann, bei entsprechender Umstellung der Stromerzeugung hin zu regenerativen Quellen, einen Beitrag zur Senkung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes leisten. Dies betrifft sowohl den überwiegend urbanen Individualverkehr als auch den städtischen Wirtschaftsverkehr und Teile des ÖPNVs. Ausgehend von dem Ziel der Bundesregierung von 1 Million Elektrofahrzeugen 2020 dürfen sich die Reduktionspotenziale jedoch in einem überschaubaren Rahmen um 0,5 Mt/a halten. Nach 2020 kann jedoch von einer hohen Marktdynamik der Elektromobilität, verbunden mit einer weiteren Reduktion der CO<sub>2</sub>-Intensität des Strommixes ausgegangen werden.

Im Bereich der **freiwilligen Maßnahmen** wurden die folgenden Maßnahmen spezifisch betrachtet:

- i) **ICAO-Ziele für den Luftverkehr:** Auf der 36. und 37. Generalversammlung der International Civil Aviation Organization (ICAO) wurden für den Luftverkehr einige unverbindliche Ziele zum Klimaschutz beschlossen. Dazu gehören:
- Jährliche Effizienzverbesserung des Luftverkehrs von 2 % bis 2050.
  - Stabilisierung der absoluten Treibhausgasemissionen des Luftverkehrs im Jahr 2020.

- j) **Energy Efficiency Design Index (EEDI) und Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) für die Seeschifffahrt:** Die Internationale Seeschifffahrtsorganisation (International Maritime Organisation, IMO) ist aufgefordert worden THG Minderungsmaßnahmen zu beschließen, da die internationalen Seeverkehre nicht unter existierende Reduktionsverpflichtungen (z.B. Kyoto-Protokoll) fallen aber große Wachstumsraten aufweisen.

In seiner Sitzung im Juli 2011 hat das Marine Environment Protection Committee (MEPC) der IMO den Energy Efficiency Design Index (EEDI) für Schiffsneubauten verabschiedet. Dies ist die erste weltweite Klimaschutzmaßnahme für einen Sektor.

Ab 2015 müssen Schiffsneubauten 10 % effizienter sein gegenüber einer Baseline, ab 2020 20 % und ab 2025 30 %. (Entwicklungs-) Länder können das Einführungsdatum jedoch um bis zu 6,5 Jahre nach hinten verschieben. Durch die lange Lebensdauer der Schiffe (ca. 30 Jahre) sowie die hohen Wachstumsprognosen im Seeschifffahrtsektor sind die zu erwartenden Minderungswirkungen durch die Maßnahme selbst, als vergleichsweise gering zu bewerten.

Weiterhin hat die IMO das Führen eines „Ship Energy Efficiency Management Plans“ (SEEMP) für alle Schiffe als verbindliche Maßnahme verabschiedet.

Diese Maßnahmen wurden nicht in die Berechnungen einbezogen da weder TREMOD noch ASTRA die Rechnungen leisten, somit die Rahmendaten fehlen und die Einsparungen auch nicht auf nationale Verpflichtungen anrechenbar sind.

## Energiewende-Szenario

Für das EWS wurden im Bereich des **Ordnungsrechts** die folgenden Maßnahmen analysiert:

- a) **Verschärfung der CO<sub>2</sub>-Strategie Pkw und LNF:** Diese Maßnahme verschärft die Vorgaben der EU-Verordnung 443/2009/EG, so dass für 2020 die Ökoinnovationen nicht mehr angerechnet werden und für 2030 ein weiterer verschärfter Grenzwert eingeführt wird. Das bedeutet in 2020 wird in Deutschland ein Grenzwert des Durchschnitts der Neuwagenflotte von 95 g CO<sub>2</sub>/km erreicht und im Jahr 2030 von 70 g CO<sub>2</sub>/km. Es wird unterstellt, dass die Emissionsreduktionen einerseits international ähnlich ausfallen wie in Deutschland und das andererseits für LNF ähnliche zusätzliche Reduktionen möglich sind. Damit belaufen sich die Zielwerte für die durchschnittliche neue LNF-Flotte in D für 2020 auf 137 g CO<sub>2</sub>/km und für 2030 auf 109 g CO<sub>2</sub>/km.
- b) **Einführung CO<sub>2</sub>-Strategie für SNF:** bis vor zwei Jahren wurde unterstellt, dass Effizienzpotenziale von SNF aufgrund des starken Wettbewerbs im Speditionsgewerbe seitens der Hersteller grundsätzlich ausgeschöpft wurden. Neue Studien z.B. GHG-TransPoRD (Ackermann et al. 2010, Schade et al. 2011) zeigen, dass bis 2020 bei neuen SNF technische Reduktionspotenziale von bis zu 30 % realisierbar sind. Es wird davon ausgegangen, dass bis 2020 Reduktionsziele so festgelegt werden, dass zusammen mit dem Einfluss der steigenden fossilen Energieträgerpreise bis 2020 eine Reduktion von 15 % gegenüber 2010 erzielt wird und bis 2030 von 35 %.
- c) **Setzung von CO<sub>2</sub>-Grenzwerten für neue Flugzeuge** ab 2013. Es wurde unterstellt, dass durch die Setzung der Grenzwerte die jährliche Effizienzsteigerung der Flugzeuge um ein halbes Prozent höher liegt als ohne Grenzwerte. Berücksichtigt man die anstehende

Flottenerneuerung ergibt sich bis 2030 eine Verringerung des Energieverbrauchs in der Flotte gegenüber dem APS von 7,7 %.

Im Bereich der **ökonomischen Instrumente** werden für das Energiewende-Szenario die folgenden Maßnahmen spezifisch analysiert:

- d) **Lkw-Maut weiterentwickeln:** Zusätzliche Berücksichtigung der Schadstoff- und Lärmkosten (derzeit nur Wegekosten) in der Mauthöhe ab 2015. Dies ist im Rahmen der in 2011 novellierten EU-Wegekosten-Richtlinie jetzt möglich.
- e) **Mehrwertsteuer (MwSt.) auf Flugverkehr (europaweit):** Ab 2015 erfolgt die Erhebung des vollen Mehrwertsteuersatzes (19 %) auf den Streckenanteil internationaler Flüge von Deutschland, der bis zum ersten Stopp zurückgelegt wird. Die Verbindung einer nationalen MwSt.-Regelung mit der aktuellen Luftverkehrsteuer wurde geprüft, aber schließlich nicht in die Modellierung einbezogen.
- f) **Schadstoff- und CO<sub>2</sub>-basierte Kfz-Steuer:** Die Kfz-Steuer soll auf eine rein schadstoff- und CO<sub>2</sub>-bezogene Bemessungsbasis umgestellt werden bei unveränderten Steuereinnahmen aus der Kfz-Steuer. Diese Maßnahme wurde integriert mit der Verschärfung der CO<sub>2</sub>-Strategie für Pkw abgeschätzt.
- g) **Attraktiver öffentlicher Verkehr:** Maßnahmen zur Verbesserung des Angebots im öffentlichen Verkehr, wie z.B. transparenteres und integriertes Preissystem (inkl. E-Ticketing), bundesweiter integraler Taktfahrplan, verkürzte Fahrzeiten (z.B. Sprinterzüge auf längeren Strecken, verbesserte Infrastruktur, leistungsfähiges Netz und Angebot in der Fläche), verbesserte Fahrradmitnahme in Fernverkehrszügen, kostenlose Leihfahrräder etc. Es wird angenommen, dass die Maßnahmen ab 2014 eingeführt werden und im Jahr 2020 ihre volle Wirkung einer Reduktion der Kosten um -20 % und der Fahrzeiten um ebenfalls -20 % entfalten.

Im Bereich der **freiwilligen Maßnahmen** werden die folgenden Instrumente spezifisch berücksichtigt:

- h) **Nutzung von Biokraftstoffen im Luftverkehr:** Seit 2008 wird in Einzelprojekten die Nutzung von Biokraftstoffen im Luftverkehr (bisher meist nur in einem von mehreren Triebwerken) getestet. Es wird davon ausgegangen, dass die Fluggesellschaften zur Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen zukünftig auch in größerem Maße Biokraftstoffe verwenden werden, allerdings bedingt durch die Mehrkosten nur zu einem geringen Anteil. Es wird angenommen, dass dieser Anteil von 0 % des Energieverbrauchs in 2013 auf 2 % im Jahr 2020, und auf 21 % in 2030 steigt. Unterstellt wird hier auch, dass eine Nutzungskonkurrenz zu anderen Verkehrsträgern um die verfügbare Menge an nachhaltig erzeugten Biokraftstoffen zugunsten des Luftverkehrs entschieden wird.

Schließlich wird auch für das Energiewende-Szenario eine Reihe **flankierender Maßnahmen** in Ansatz gebracht, die jedoch nicht spezifisch analysiert werden:

- i) **Ausbau des Schienennetzes:** Neben betrieblichen (v. a. Optimierung der Leit- und Sicherungstechnik, Harmonisierung der Geschwindigkeiten) und kleineren infrastrukturellen Maßnahmen (Elektrifizierung, neue Nebengleise, Optimierung der Knoten) Beseitigung der Engpässe in der Bahninfrastruktur für den Bahn-Güterverkehr, insbesondere für die Korridore Rhein-Schiene und Nordseehäfen-Hinterlandanbindung. Dies führt entlang dieser Korridore zu einer kontinuierlich ansteigenden Verbesserung der Fahrzeiten

des Bahngüterverkehrs zwischen 2015 und 2025 und damit zu einer verbesserten Wettbewerbsfähigkeit gegenüber der Straße.

- j) **Entwicklung eines marktwirtschaftlichen Instruments** für den Seeverkehr: Sowohl auf internationaler Ebene in der Internationalen Seeschiffahrtsorganisation (IMO) sowie auf europäischer Ebene wird die Einführung eines marktwirtschaftlichen Instruments zur Minderung der Treibhausgasemissionen des Internationalen Seeverkehrs diskutiert. Deutschland engagiert sich in der IMO für ein maritimes Emissionshandelssystem. Dadurch werden ökonomische Anreize gesetzt, um energieeffiziente Maßnahmen im Schiffsbau und -betrieb umzusetzen. Die Verhandlungen in der IMO verlaufen sehr langsam, in 2011 kam es widererwarten zu keiner richtungsweisenden Entscheidung. Die EU hat mit Ratsbeschluss vom 21. Oktober 2009 eine Minderung der Treibhausgasemissionen für die Seeschiffahrt von 20 % für 2020 gegenüber dem Referenzjahr 2005 beschlossen. Da die EU (Rat und Parlament) beschlossen hat, dass, sollte die IMO bis Ende 2011 kein effizientes marktwirtschaftliches Instrument verabschiedet haben, die EU-Kommission (KOM) einen Vorschlag für die Einbeziehung der Emissionen aus dem Seeverkehr in die Minderungsverpflichtungen der Europäischen Gemeinschaft vorlegen soll, muss die KOM nun aktiv werden. Dazu werden zurzeit verschiedene Maßnahmen auf europäischer Ebene geprüft; welche Maßnahme vorgeschlagen wird, ist noch offen. Im Oktober 2012 hat die EU jedoch angekündigt, dass sie vor der Einführung einer regionalen marktwirtschaftlichen Maßnahme eine Monitoring Richtlinie verabschieden wolle. Hierzu laufen aktuell die Vorbereitungen (Stakeholder-Consultations).

### 3.4.3 Methodik

Zur Abschätzung der Wirkungen der Maßnahmen im Verkehrssektor werden vier Bausteine benutzt:

1. Zentrale System Emissionen (ZSE): Zur Wahrung der Konsistenz mit dem Zentralen System Emissionen (ZSE) des Umweltbundesamtes (UBA 2011b), wurden die Energieverbrauchsdaten des ZSE für 2009 mit den Daten aus TREMOD und ASTRA abgeglichen. Die Leitzahlen für 2009 entstammen somit dem ZSE.
2. TREMOD 5.1 (IFEU 2010) bzw. 5.24 (Aktualisierung ohne gesonderte Dokumentation): die aktuellste Version von TREMOD liefert die Inputdaten für die Verkehrsindikatoren (Verkehrs- und Fahrleistungen) und den Energieverbrauch im Verkehr im APS von 2010 bis 2030. Aufbauend auf diesen Inputdaten müssen zwei Korrekturen vorgenommen werden um zu den finalen Daten für den Energieverbrauch im APS zu gelangen:
  - a. Ergänzung des Kraftstoffverbrauchs für LPG (Autogas, Liquefied Petroleum Gas) und CNG (Erdgas, Compressed Natural Gas), die in TREMOD nicht ausgewiesen werden. Die Daten wurden aus PSz-V übernommen und entsprechende Korrekturen beim Verbrauch von Diesel und Benzin aus TREMOD vorgenommen (Öko-Institut et al. 2009).
  - b. Darauf aufbauend müssen die Maßnahmen berücksichtigt werden, die nicht im TREMOD-Szenario bis 2030 berücksichtigt wurden. Dazu gehören zum einen die Elektromobilität und die Maßnahmen im Luftverkehr. Durch Einbeziehung der Elektromobilität verändert sich der Strom-, Diesel und Benzinverbrauch gegenüber TREMOD. Durch die Maßnahmen im Luftverkehr wird der Kerosinverbrauch modifiziert.

3. ASTRA (<http://www.astra-model.eu/>): Die Deutschland-Modellierung des europäischen ASTRA-Modells wurde genutzt, um die Reaktion des Verkehrssystems auf die einzelnen Maßnahmen des EWS abzuschätzen. Die relative Veränderung im Energieverbrauch der einzelnen Energieträger wurde dann übertragen auf die Ausgangswerte im APS, um die Wirkungsabschätzung unter den Rahmenbedingungen dieses Projektes zu quantifizieren.
4. Excel-Modelle: für einzelne Maßnahmen wurden separate Abschätzungen außerhalb ASTRA in vereinfachten Excel-Modellen durchgeführt. Dies gilt für die vier Maßnahmen im Luftverkehr und die Abschätzung der Wirkung der Elektromobilität.

#### 3.4.4 Annahmen und Parameter

##### Aktuelle-Politik-Szenario

Neben den ökonomischen Annahmen aus PSz-VI kann der Kern der Annahmen für den Verkehrssektor dem Bericht zur TREMOD-Version 5 entnommen werden und entstammt dem dortigen Trendszenario bis 2030 (IFEU 2010). Basierend auf der Verflechtungsprognose 2025 von 2007 (BMVBS 2007) werden zusätzliche Anpassungen und Annahmen getroffen, um die Entwicklung von 2007 bis 2010 abzubilden und eine Prognose bis 2030 zu leisten. Zu den Anpassungen bis 2010 gehören die Berücksichtigung der verkehrlichen Effekte der Finanz- und Wirtschaftskrise von 2008/2009, die Wirkung der Abwrackprämie und die tatsächliche Entwicklung der Nutzung von Biokraftstoffen (IFEU 2010, S.42).

Für den Bereich der Prognose bis 2030 wurden Korrekturen für den Busverkehr und den Straßengüterverkehr auch für den Zeitraum bis 2025 vorgenommen. Für den Zeitraum nach 2025 bis 2030 wurden verkehrsträgerspezifische Wachstumsraten der Verkehrsleistung angesetzt, die im Bereich des bodengebundenen Personenverkehrs eine Verlangsamung des Wachstums vorsehen, und für die übrigen Verkehrsarten eine Fortschreibung der Trends (IFEU 2010, S.46).

Das TREMOD Trendszenario bis 2030 beinhaltet fünf der neun Maßnahmen des APS aus PSz-VI:

1. CO<sub>2</sub>-Strategie Pkw,
2. CO<sub>2</sub>-Strategie LNF,
3. Biokraftstoffquotengesetz,
4. Lkw-Maut zum Stand 2010, und
5. CO<sub>2</sub>-basierte Kfz-Steuer.

Die übrigen vier Maßnahmen wurden basierend auf dem TREMOD-Trendszenario separat abgeschätzt, und die Ergebnisse wurden auf das Trendszenario aufgeschlagen, um das Mengengerüst für den Verkehrssektor im APS zu erhalten.

Die Maßnahme „Strategie Elektromobilität“ verfolgt das Ziel Deutschland zum Leitmarkt und Leitanbieter für Elektromobilität zu machen und im Jahr 2020 1 Million Elektrofahrzeuge im Bestand an Pkw und LNF zu haben. Als Elektrofahrzeuge werden hier sowohl rein batterieelektrisch betriebene Fahrzeuge (BEV) als auch Fahrzeuge die einen batterieelektrischen Antrieb mit einem Verbrennungsmotor kombinieren (PHEV, Plug-in Hybrid Electric Vehicles inkl. Hybridfahrzeuge mit Range Extender) verstanden. Entscheidend ist, dass diese Fahrzeuge Strom aus der Steckdose (d. h. dem Stromnetz) laden können, um ihre Antriebsenergie zu beziehen. Zur Umsetzung der Maßnahme sieht die Bundesregierung vor allem Unterstützung für F&E und für Demonstrationsvorhaben vor, sowie außerdem Ausnahmeregelungen bei der Anrechnung

von neuen E-Mobilen zur Erreichung der CO<sub>2</sub>-Ziele für Neuwagen der einzelnen Hersteller und steuerliche Neuregelungen, die teilweise Elektrofahrzeuge privilegieren (Kfz-Steuer) und bestehende Nachteile gegenüber konventionellen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor abschaffen sollen (Dienstwagenbesteuerung).

Zur Erreichung des Zieles von 1 Million Elektrofahrzeugen im Jahr 2020 existieren verschiedene Szenarien. Für PSz-VI wurde ein Szenario des Fraunhofer-ISI ausgewählt, welches eine Projektion bis ins Jahr 2030 mitliefert (Kley, Wietschel 2010). Tab. 3-60 stellt die Flotte an Elektrofahrzeugen, deren Fahrleistungen, sowie deren elektrischen Energiebezug aus dem Stromnetz dar. Für das Szenario wurde unterstellt, das 90 % der Pkw-Fahrleistungen elektrisch erfolgen und 80 % der LNF-Fahrleistungen. Der Stromverbrauch wurde dann als zusätzlicher Stromverbrauch in das TREMOD-Trendszenario integriert, sowie die entsprechenden Reduktionen bei Benzin, Diesel, Biodiesel und (Bio-)Ethanol vorgenommen. Durch die bessere Energieeffizienz der Elektrofahrzeuge ergibt sich eine Reduktion des Endenergieverbrauches im APS um 17,8 PJ im Jahr 2020 und um 85 PJ im Jahr 2030 bei gleichbleibender Fahrleistung.

Tab. 3-60: Annahmen und Ergebnisse zur Maßnahme „Strategie Elektromobilität“ - Entwicklung Bestand Elektrofahrzeuge

|                              |           | 2010       | 2015  | 2020  | 2025   | 2030   |
|------------------------------|-----------|------------|-------|-------|--------|--------|
|                              |           | [1000 PKW] |       |       |        |        |
| PKW klein                    | BEV       | 0          | 168,8 | 380,1 | 776,8  | 1595,7 |
|                              | PHEV      | 0          | 0,3   | 2,3   | 11     | 49,4   |
| PKW mittel                   | BEV       | 0          | 0     | 0,5   | 27,6   | 772,9  |
|                              | PHEV      | 0          | 167,7 | 483   | 1285,4 | 2331,2 |
| PKW groß                     | BEV       | 0          | 0     | 0,1   | 5,9    | 124,1  |
|                              | PHEV      | 0          | 4,3   | 85    | 388    | 830,5  |
| LNF                          | BEV       | 0          | 0     | 0     | 0      | 0      |
|                              | PHEV      | 0          | 18    | 50,1  | 131,3  | 300,2  |
| PKW elektrisch               | Mrd Fz-km | 0          | 5,4   | 14,7  | 37,8   | 84,8   |
| LNF elektrisch               | Mrd Fz-km | 0          | 0,3   | 0,9   | 2,4    | 5,4    |
| PKW                          | PJ        | 0          | 2,9   | 7,4   | 15,1   | 28,1   |
| LNF                          | PJ        | 0          | 0,3   | 0,9   | 2,3    | 5,1    |
| Gesamt Stromverbrauch Straße | PJ        | 0          | 3,2   | 8,4   | 17,4   | 33,2   |

Quelle: Fraunhofer-ISI eigene Berechnungen, basierend auf Kley, Wietschel (2010)

Die weiteren drei Maßnahmen zur Ableitung des APS aus dem TREMOD-Trendszenario beziehen sich auf den Luftverkehr:

1. Einbeziehung des Luftverkehrs in den Emissionshandel,
2. Einführung der Luftverkehrssteuer im Luftverkehr, und
3. Umsetzung des ICAO-Effizienzzieles von 2 % jährlicher Effizienzverbesserung bis 2050.

Die drei Maßnahmen wurden in einem separaten Excel-Modell gerechnet, welches in PSz-IV aufgebaut (Öko-Institut et al. 2008) und für dieses Projekt modifiziert wurde, um den geänderten Rahmenbedingungen zu genügen. Das Modell unterscheidet zehn Nachfragesegmente im Luftverkehr, da in diesen Segmenten deutlich unterschiedliche Ticketpreise und Nachfrageelastizitäten bzgl. des Preises beobachtet werden. Insbesondere werden Geschäftsreisen und touristische Reisen sowie Reisen mit Flaggengesellschaften und Billigfluggesellschaften getrennt ab-

geschätzt. Für die Flaggengesellschaften werden drei Flugdistanzen (Kurz-, Mittel- und Langstrecke) unterschieden und für die Billigfluggesellschaften zwei Distanzklassen (Kurz- und Mittelstrecke). Die Unterscheidung zwischen Flaggen- und Billigfluggesellschaften ist heute weniger deutlich als noch in 2007, da auch die Flaggengesellschaften je nach Auslastung günstigere Tickets anbieten, während die Billigfluggesellschaften bei hoher Auslastung und durch zahlreiche Gebührenaufschläge auch teurere Tickets anbieten.

Ausgangspunkt der Berechnungen bilden die Verkehrsleistungen und Energieverbräuche im Luftverkehr aus TREMOD. TREMOD erwartete für das Jahr 2020 519 PJ und für das Jahr 2030 678 PJ. Die Veränderung der Nachfrage durch die Einbeziehung des Emissionshandels reduziert diesen Energieverbrauch um knapp 9 PJ im Jahr 2020 und rund 15 PJ im Jahr 2030 (siehe Tab. 3-61).

Tab. 3-61: Annahmen und Ergebnisse zur Maßnahme „Einbeziehung des Luftverkehrs in den Emissionshandel“

|   |                |                          | 2010 | 2015  | 2020  | 2025  | 2030  |
|---|----------------|--------------------------|------|-------|-------|-------|-------|
| EU-ETS Preis                              |                | €/t CO <sub>2</sub>      | 16   | 20    | 23    | 27    | 30    |
| Anteil Billigflugsegment                  |                | %                        | 25   | 30    | 30    | 30    | 30    |
| Flaggen-<br>gesell-<br>schaften           | Geschäftsreise | Veränderung<br>Nachfrage | 0    | -0,23 | -0,27 | -0,31 | -0,35 |
|   | Tourismus      |                          | 0    | -2,51 | -2,89 | -3,39 | -3,76 |
| Billigflug-<br>segment                    | Geschäftsreise | in [%]                   | 0    | -0,16 | -0,19 | -0,22 | -0,24 |
|   | Tourismus      |                          | 0    | -2,46 | -2,83 | -3,32 | -3,69 |
| Veränderung der Nachfrage Gesamt          |                | %                        | 0    | -2,0  | -2,3  | -2,7  | -3,0  |
| Veränderung des Energieverbrauchs         |                | PJ                       | 0    | -6,7  | -8,7  | -11,7 | -14,7 |
| Veränderung der CO <sub>2</sub> -Emission |                | Mt CO <sub>2</sub>       | 0    | -0,5  | -0,6  | -0,9  | -1,1  |

Quelle: Fraunhofer-ISI eigene Berechnungen.

Eine stärkere Wirkung wird erwartet durch die Einführung der Luftverkehrssteuer im Luftverkehr, da die Preisaufschläge auf Flugtickets deutlich größer ausfallen als durch den Emissionshandel. Bei der Berechnung der Maßnahme wurde berücksichtigt, dass die Bundesregierung den Preisanstieg durch den Emissionshandel bei der Luftverkehrssteuer kompensieren möchte. Als wirksame Preisaufschläge ergeben sich 6,29, 22,49 und 31,78 €/Ticket für die Kurz-, Mittel- und Langstrecke. Tab. 3-62 fasst Annahmen und Ergebnisse zusammen. Diese Maßnahme führt zu weiteren Reduktionen des Energieverbrauches im Luftverkehr von rund 23 PJ im Jahr 2020 und gut 29 PJ im Jahr 2030.

Tab. 3-62: Annahmen und Ergebnisse zur Maßnahme „Einführung der Luftverkehrssteuer im Luftverkehr“

|   |                     | 2010                     | 2015 | 2020   | 2025   | 2030   |        |
|---|---------------------|--------------------------|------|--------|--------|--------|--------|
| EU-ETS Preis                              | €/t CO <sub>2</sub> | 16                       | 20   | 23     | 27     | 30     |        |
| Anteil Billigflugsegment                  | %                   | 25                       | 30   | 30     | 30     | 30     |        |
| Flaggen-<br>gesell-<br>schaften           | Geschäftsreise      | Veränderung<br>Nachfrage | 0    | -0,66  | -0,66  | -0,66  | -0,66  |
|   | Tourismus           |                          | 0    | -5,63  | -5,63  | -5,63  | -5,63  |
| Billigflug-<br>segment                    | Geschäftsreise      | in [%]                   | 0    | -1,05  | -1,05  | -1,05  | -1,05  |
|   | Tourismus           |                          | 0    | -13,96 | -13,96 | -13,96 | -13,96 |
| Veränderung der Nachfrage Gesamt          | %                   | 0                        | -6,9 | -6,9   | -6,9   | -6,9   |        |
| Veränderung des Energieverbrauchs         | PJ                  | 0                        | -6,7 | -22,6  | -25,7  | -29,3  |        |
| Veränderung der CO <sub>2</sub> -Emission | Mt CO <sub>2</sub>  | 0                        | -0,5 | -1,7   | -1,9   | -2,2   |        |

Quelle: Fraunhofer-ISI eigene Berechnungen.

Die dritte Maßnahme im Luftverkehr setzt nicht auf eine Dämpfung der Nachfrage, sondern eine Verbesserung des Angebotes. Durch die Zielsetzung von ICAO die Effizienz im Luftverkehr jährlich um 2 % zu steigern wird angenommen, das sich die Energieeffizienz im Luftverkehr zusätzlich um 0,5 % jährlich verbessert gegenüber dem autonomen Trend bzw. der in TREMOD unterstellten Effizienzsteigerung. Dies erscheint wenig im Vergleich mit Angaben aus der Literatur, die für die Vergangenheit von einer durchschnittlichen jährlichen Verbesserung von 3 % sprechen (Sieber 2009), während TREMOD für die Zukunft nur eine jährliche Verbesserung von 1 % unterstellt. Deshalb wurde zur Abschätzung der Maßnahmenwirkung in diesem Projekt angenommen, das durch die ICAO-Ziel-Formulierung eine zusätzliche jährliche Verbesserung von 0,5 % erzielt wird, sodass sich bis 2030 eine gesamte Verbesserung von 10,5 % ergibt, gegenüber dem um EU-ETS und Luftverkehrssteuer korrigierten Energieverbrauch. Der sich ergebende Energieverbrauch für den Luftverkehr im APS ist in Tab. 3-63 dargestellt. Im Jahr 2020 ergibt sich in der Abgrenzung von TREMOD ein Energieverbrauch im Luftverkehr von 460 PJ und im Jahr 2030 von 564 PJ. Damit fällt im Jahr 2030 der Energieverbrauch im Luftverkehr rund 17 % niedriger aus im APS als im TREMOD-Trendszenario bis 2030.

Tab. 3-63: Annahmen und Ergebnisse zur Maßnahme „ICAO-Effizienzziel 2 % jährlich“

|  |    | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030  |
|--|----|------|------|------|------|-------|
| TREMOD Energieverbrauch Luftverkehr                    | PJ | 362  | 455  | 519  | 594  | 678   |
| Energieverbrauch mit EU-ETS und Ticketabgabe           | PJ | 362  | 426  | 484  | 553  | 630   |
| Effizienzverbesserung durch ICAO-Ziel (+0.5% jährlich) | %  | 0,0% | 2,5% | 5,1% | 7,8% | 10,5% |
| Energieverbrauch des Luftverkehrs im MMS               |    | 362  | 415  | 460  | 510  | 564   |
| National   | PJ | 27   | 24   | 24   | 23   | 22    |
| International  |    | 336  | 391  | 436  | 487  | 542   |
| Reduktion durch ICAO Effizienzzielerhöhung             |    | 0    | -11  | -24  | -43  | -66   |

Quelle: Fraunhofer-ISI eigene Berechnungen.

### Energiewende-Szenario

Für das EWS wurde die Wirkung von acht weiteren Maßnahmen abgeschätzt, für die Maßnahmen im Luftverkehr noch untergliedert in die nationale Wirkung und die internationale Wirkung. Alle acht Maßnahmen wurden im ASTRA-Modell implementiert und ihre Wirkungen mit dem Modell abgeschätzt. Durch die Nutzung des ASTRA-Modells werden im Gegensatz zur Anwendung des Excel-Modells auch die systemischen Effekte (z.B. durch geänderte Modalwahl steigende Verkehrs- und damit Energienachfrage in anderen Verkehrsträgern als durch eine spezifische Maßnahme fokussiert) mit erfasst. Für die Maßnahme „Einführung der Mehrwertsteuer im Luftverkehr“ wurde vergleichend noch der Ansatz der Luftverkehrs-Maßnahmen aus dem APS durchgerechnet, d. h. das separate Excel-Modell für eine eigenständige Abschätzung genutzt, um die Verhaltensreaktion der beiden Modelle zu überprüfen.

Die MwSt. mit einem Satz von 19 % wird nur auf den vollen Ticketpreis auf nationalen und europäischen Strecken erhoben, aber nicht auf interkontinentalen Verbindungen. Tab. 3-64 stellt die für die Abschätzungen verwendeten Preisaufschläge dar. Im Bereich des Geschäftsreiserverkehrs dürfte mit wenigen Ausnahmen (z.B. Projekte im Auftrag von EU-Institutionen) die MwSt. einen durchlaufenden Posten darstellen. Trotzdem ist mit einer psychologisch begründbaren Veränderung der Entscheidung zu rechnen, wenn die Preise für ein Kurzstreckenticket um knapp 100 € steigen. Insgesamt ist anzumerken, dass bei den Einsparungen an Energie und CO<sub>2</sub> der Anteil durch Geschäftsreisen in unserem Excel-Modell ungefähr ein Zwanzigstel beträgt und damit nur geringfügig ins Gewicht fallen würde, wenn man hier die MwSt. als durchlaufenden Posten und damit ohne einen Preisaufschlag bei Geschäftsreisen ansetzen würde.

Tab. 3-64: Annahmen bzgl. Preiserhöhungen durch Einbeziehung der MwSt. auf europäische Ticketpreise

|                    |               | Flaggengesellschaften | Billigflugsegment |
|--------------------|---------------|-----------------------|-------------------|
| Geschäftsreisen    | Kurzstrecke   | € 92,15               | € 22,80           |
|                    | Mittelstrecke | € 123,50              | € 41,80           |
| Tourismus / privat | Kurzstrecke   | € 38,00               | € 22,80           |
|                    | Mittelstrecke | € 66,50               | € 41,80           |

Quelle: Fraunhofer-ISI eigene Berechnungen.

Tab. 3-65: Annahmen und Ergebnisse zur Maßnahme „MwSt. im europäischen Luftverkehr“ stellt die Ergebnisse des Excel-Modells dar. 2030 können rund 42 PJ und 3,1 Mt CO<sub>2</sub> durch die Ausdehnung der MwSt. auf den europäischen Luftverkehr eingespart werden. Beim Vergleich mit dem ASTRA Modell anhand der Ergebnisse bzgl. der CO<sub>2</sub> Einsparung ergibt sich, dass im Jahr 2030 rund 2,6 Mt CO<sub>2</sub> eingespart werden. Damit liegen die Ergebnisse der beiden Methoden mit einem Unterschied von 15 % in einer ähnlichen Größenordnung.

Tab. 3-65: Annahmen und Ergebnisse zur Maßnahme „MwSt. im europäischen Luftverkehr“

|   |                    | 2010                     | 2015   | 2020   | 2025   | 2030   |        |
|---|--------------------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Anteil Billigflugsegment                  | %                  | 25                       | 30     | 30     | 30     | 30     |        |
| Flaggen-<br>gesell-<br>schaften           | Geschäftsreise     | Veränderung<br>Nachfrage | -2,28  | -2,28  | -2,28  | -2,28  | -2,28  |
|   | Tourismus          |                          | -3,48  | -3,48  | -3,48  | -3,48  | -3,48  |
| Billigflug-<br>segment                    | Geschäftsreise     | in [%]                   | -2,09  | -2,09  | -2,09  | -2,09  | -2,09  |
|   | Tourismus          |                          | -30,40 | -30,40 | -30,40 | -30,40 | -30,40 |
| Veränderung der Nachfrage                 | %                  | -9,3                     | -10,5  | -10,5  | -10,5  | -10,5  |        |
| Veränderung des Energieverbrauchs         | PJ                 | -24,5                    | -31,5  | -34,8  | -38,4  | -42,3  |        |
| Veränderung der CO <sub>2</sub> -Emission | Mt CO <sub>2</sub> | -1,8                     | -2,3   | -2,5   | -2,8   | -3,1   |        |

Quelle: Fraunhofer-ISI eigene Berechnungen.

### 3.4.5 Ergebnisse der Projektionen

Wie vorstehend beschrieben setzt die Projektion des APS auf dem neuesten TREMOD Szenario auf, ergänzt und korrigiert dieses um die vier zusätzlichen Maßnahmen des APS im Verkehrssektor, woraus die Projektion des Energieverbrauchs (Tab. 3-66) und der CO<sub>2</sub>-Emissionen des APS (Tab. 3-67) resultiert. Darauf aufbauend werden die Maßnahmen des EWS abgeschätzt und man erhält die Projektion der beiden Indikatoren für das EWS. Im Folgenden werden die beiden Projektionen für APS und EWS sowie die Wirkung der zusätzlich eingeführten Maßnahmen dargestellt. Generell ist bei den Betrachtungen zu berücksichtigen, dass der Strombedarf im Verkehrssektor (insbesondere durch die ansteigende Emobility) sich hinsichtlich der Gesamtbilanzierung der Treibhausgasemissionen nicht im Verkehrs- sondern im Stromsektor niederschlägt (siehe Kapitel 3.7), in dem die gesamten Strombedarfe aus den einzelnen Sektoren zusammengeführt werden. Dies gilt auch für die Gesamtbilanz des Verkehrs in Tab. 3-73. Hinsichtlich der Bilanzierung der Einzelmaßnahmen im Verkehr sind die Änderungen der Emissionen durch geänderte Stromnachfrage sowie durch geänderte Emissionsfaktoren im EWS gegenüber APS bei der Abschätzung der Maßnahmenwirkung berücksichtigt. Biokraftstoffe sind sowohl bei der Bilanzierung der Einzelmaßnahmen im Verkehr als auch bei der Gesamtbilanz des Verkehrs mit Null-Emission im Verkehrssektor bewertet. Ihre Emissionen sind den entsprechenden Sektoren der Vorkette zugeordnet.

#### Aktuelle-Politik-Szenario

Das APS im Verkehr beinhaltet drei große Blöcke an Maßnahmen: (1) die Setzung von Effizienzstandards oder Zielen im Straßen- (Pkw, LNF) und Luftverkehr, (2) die Quotierung alternativer Antriebsenergien im Straßenverkehr (Biokraftstoffe und Strom), und (3) die Einführung ökonomischer Instrumente (Maut, Luftverkehrsteuer, CO<sub>2</sub>-Emissionshandel). Damit ergibt sich die in Tab. 3-66 dargestellte Projektion des Energieverbrauchs im Verkehr. Gegenüber 2009 lässt sich bis 2020 eine Stagnation des Energieverbrauchs für den Verkehr in der Abgrenzung nach Territorialprinzip beobachten, d.h. inklusive des Flugverkehrs über Deutschland. Bis 2030 kann eine Reduktion um knapp 13 % auf dann 1877 PJ erreicht werden. Bezieht man den von Deutschland ausgehenden internationalen Luftverkehr ein, dann beträgt der Rückgang nur knapp 3 %, da der Energieverbrauch des internationalen Luftverkehrs um 60 % zulegt. Bemerkenswert ist auf jeden Fall der Rückgang des Benzinverbrauchs bis 2030 um fast 60 %, während die Dieselnachfrage im Jahr 2030 ungefähr auf dem Niveau von 2009 liegt, mit einem Peak des Ver-

brauchs im Jahr 2020, der knapp 10 % höher liegt als 2009. Alternative Energien nehmen im Verkehr bis 2030 teilweise stark zu, wie der fünffache Verbrauch von Erdgas (allerdings von niedrigem Niveau im Jahr 2009), die Verdopplung des Biodieselsverbrauchs und die 70 % Steigerung des Stromverbrauchs zeigen.

Tab. 3-66: Endenergieverbrauch im Verkehr im APS

| Energieträger                   | 2009         | 2015         | 2020         | 2025         | 2030         |
|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                                 | in PJ        |              |              |              |              |
| Benzin                          | 828          | 628          | 500          | 420          | 351          |
| Diesel                          | 1.151        | 1.240        | 1.252        | 1.229        | 1.173        |
| Kerosin (national)              | 28,8         | 24,3         | 23,6         | 22,9         | 22,1         |
| LPG                             | 19,0         | 19,1         | 11,6         | 9,1          | 8,6          |
| Erdgas                          | 5,5          | 23,4         | 33,1         | 34,2         | 28,7         |
| (Bio-) Ethanol                  | 23,9         | 46,5         | 55,4         | 46,5         | 38,9         |
| FAME                            | 91           | 153          | 188          | 184          | 176          |
| Pflanzenöl                      | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          |
| Methanol                        | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          |
| Wasserstoff                     | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          |
| Andere Mineralölprodukte        | 1,6          | 2,0          | 2,0          | 2,0          | 2,0          |
| Braunkohlen                     | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          |
| Steinkohlen                     | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          | 0,0          |
| Strom                           |              | 45           | 51           | 61           | 77           |
| <b>Summe national</b>           | <b>2.149</b> | <b>2.181</b> | <b>2.117</b> | <b>2.009</b> | <b>1.877</b> |
| Schmierstoff (Int. Flugverkehr) | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| Kerosin (Int. Flugverkehr)      | 341          | 391          | 436          | 487          | 542          |
| Summe (incl. Flugverkehr)       | 2.490        | 2.572        | 2.553        | 2.497        | 2.419        |

Quellen: Fraunhofer-ISI Berechnungen basierend auf IFEU (2010), UBA (2011b), Öko-Institut et al. (2009)

Die Entwicklung der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs ist in Tab. 3-67 dargestellt. Ausgehend von 152 Mt CO<sub>2</sub> im nationalen Verkehr im Jahr 2010 bzw. 177 Mt CO<sub>2</sub> unter Berücksichtigung des internationalen Flugverkehrs, verringern sich die nationalen Emissionen kontinuierlich um knapp 9 % bis 2020 und um über 19 % bis 2030. Die gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs inklusive des internationalen Luftverkehrs nehmen bis 2020 leicht ab um 3 %, da der wachsende Luftverkehr die Reduktionen bei den übrigen Verkehrsträgern kompensiert, und werden dann bis 2030 um rund 8 % reduziert.

Tab. 3-67: CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs im APS

| CO <sub>2</sub> Verkehr         | 2010                  | 2015       | 2020       | 2025       | 2030       |
|---------------------------------|-----------------------|------------|------------|------------|------------|
|                                 | in Mt CO <sub>2</sub> |            |            |            |            |
| National                        | 152                   | 147        | 139        | 132        | 122        |
| Internationaler Flugverkehr     | 25                    | 29         | 32         | 36         | 40         |
| <b>National und Flugverkehr</b> | <b>177</b>            | <b>176</b> | <b>171</b> | <b>168</b> | <b>162</b> |

Quellen: Fraunhofer-ISI Berechnungen basierend auf Tab. 3-66<sup>21</sup>

Tab. 3-68: Reduktionswirkung der Maßnahmen zusätzlich zum TREMOD Szenario im APS

| Maßnahme /<br>Umsetzung /<br>Institution  | Typ | Beschreibung /<br>Ziele<br>(Wirkungsbereich)                                 | Um-<br>setzungs-<br>stand<br>(Wirkungs-<br>beginn) | 2015                                  | 2020 | 2025 | 2030  | 2015                    | 2020  | 2025  | 2030  |
|---|-----|--|--|---------------------------------------|------|------|-------|-------------------------|-------|-------|-------|
|   |     |  |  | Direkte<br>Emissionsminderungseffekte |      |      |       | Brennstoff Einsparungen |       |       |       |
|   |     |  |  | Mio. t CO <sub>2</sub> -Äqu.          |      |      |       | PJ                      |       |       |       |
| Luftverkehr im ETS<br>(EU-Kommission)   | Ö   | Verbindliche<br>Einbeziehung des<br>Luftverkehrs in EU-<br>ETS               | 2012   | -0,5                                  | -0,6 | -0,9 | -1,1  | -6,7                    | -8,7  | -11,7 | -14,7 |
| Luftverkehr<br>Ticketabgabe (Nat.)  | Ö   | Erhebung auf alle in D<br>startenden /<br>landenden Flüge                    | 2011   | -1,7                                  | -1,9 | -2,1 | -2,4  | -23                     | -25,7 | -29,3 | -33,3 |
| Luftverkehr ICAO<br>Effizienzziel (1,5%)  | F   | Verbesserung der<br>Effizienz neuer<br>Flugzeuge um jährlich<br>1,5%         | 2011   | -0,8                                  | -1,8 | -3,1 | -4,8  | -10,5                   | -24,4 | -42,7 | -65,9 |
| Strategie<br>Elektromobilität (Nat.)  | Z   | Ziel 1 Million<br>Elektromobile im<br>Bestand in D in 2020,<br>6 Mio in 2030 | 2011   | -0,3                                  | -0,7 | -1,8 | -4,5  | -7,7                    | -17,8 | -40,8 | -85,0 |
| Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahme (ohne<br>Berücksichtigung von Überlagerungseffekten) |     |  |  | -3,2                                  | -5,0 | -7,9 | -12,8 | -48                     | -76,5 | -124  | -199  |

Quelle: Fraunhofer-ISI Berechnungen

Für das APS wurde die Wirkung der Einzelmaßnahmen, die zusätzlich zum Ausgangsszenario von TREMOD ergriffen wurden abgeschätzt (siehe Kapitel 2.4.4). Die Ergebnisse der Reduktionswirkungen sind in Tab. 3-68 dargestellt. Kurz- bis mittelfristig leistet die Luftverkehrsteuer im Luftverkehr den größten zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Reduktionsbeitrag. Mittel- und langfristig wirken sich die technologischen Änderungen stärker aus, d.h. das Effizienzziel für Flugzeuge und die Elektromobilität im Straßenverkehr. Die verzögerte Wirkung der Maßnahmen ist zum einen auf die über die Zeit zunehmende Diffusion der Fahrzeuge in den Bestand zurückzuführen und zum Anderen auf den technischen Fortschritt und die parallel laufende Dekarbonisierung des Stromsystems.

### Energiewende-Szenario

Der Begriff Energiewende-Szenario zeigt auf, dass die Maßnahmen des Szenarios vor allem auf eine Änderung der energetischen Basis des Verkehrssystems abzielen. Tatsächlich steht ein richtiges Verkehrswende-Szenario analog der Energiewende mit Änderung der Produktions-

<sup>21</sup> Inkl. Emissionen im Stromsektor.

und Eigentumsstrukturen für den Verkehrssektor noch aus. Die Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Verkehrssektor im EWS zeigt Tab. 3-69. Im EWS lässt sich der Energieverbrauch im nationalen Verkehr bis 2020 gegenüber 2010 bereits um 8 % reduzieren und bis 2030 um 26 %. Die stärksten Veränderungen treten beim Diesel- und Kerosinverbrauch auf. Die Nachfrage nach Dieselkraftstoff im APS stagnierte, während sie im EWS bis 2030 um rund 15 % verringert wird, insbesondere als Folge der CO<sub>2</sub>-Regulierung für Pkw, LNF und SNF. Die Nachfrage nach Kerosin würde im nationalen Verkehr um 42 % gesenkt und steigt im internationalen Verkehr nur um 11 % an gegenüber einem Anstieg um 61 % im APS. Allerdings würde Kerosin zu einem großen Teil ersetzt durch Bio-Kerosin, so dass der Verbrauch von Bio-Kerosin im Jahr 2030 bereits 115 PJ beträgt. Hierbei sollte die Nutzungskonkurrenz mit anderen Verkehrsträgern, um die begrenzte Menge an nachhaltigen Biokraftstoffen einer genaueren Analyse unterzogen werden als in dieser Studie möglich.

Tab. 3-69: Endenergieverbrauch im Verkehr im EWS

| Energieträger                    | 2010         | 2015         | 2020         | 2025         | 2030         |
|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                                  | in PJ        |              |              |              |              |
| Benzin                           | 803          | 621          | 448          | 374          | 322          |
| Diesel                           | 1.139        | 1.228        | 1.198        | 1.102        | 967          |
| Kerosin (national)               | 27           | 23           | 21           | 18           | 15           |
| LPG                              | 19           | 19           | 11           | 9            | 10           |
| Erdgas                           | 11           | 23           | 30           | 32           | 29           |
| (Bio-) Ethanol                   | 33           | 46           | 50           | 41           | 35           |
| FAME                             | 87           | 152          | 179          | 165          | 144          |
| Pflanzenöl                       | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| Methanol                         | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| Wasserstoff                      | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| Andere Mineralölprodukte         | 2            | 2            | 2            | 2            | 2            |
| Braunkohlen                      | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| Steinkohlen                      | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| Strom                            | 45           | 46           | 57           | 62           | 69           |
| Bio-Kerosin (national)           | 0            | 0            | 1            | 3            | 5            |
| <b>Summe national</b>            | <b>2.165</b> | <b>2.160</b> | <b>1.997</b> | <b>1.807</b> | <b>1.599</b> |
| Schmierstoff (Int. Flugverkehr)  | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |
| Kerosin (Int. Flugverkehr)       | 336          | 365          | 390          | 393          | 372          |
| Bio-Kerosin(Int. Flugverkehr)    | 0            | 0            | 8            | 47           | 110          |
| <b>Summe (incl. Flugverkehr)</b> | <b>2.500</b> | <b>2.525</b> | <b>2.395</b> | <b>2.248</b> | <b>2.080</b> |

Quellen: Fraunhofer-ISI.

Tab. 3-70 stellt die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im EWS dar. Im Jahr 2020 liegen diese im nationalen Verkehr im EWS um 9 Mt CO<sub>2</sub> niedriger als im APS und im Jahr 2030 um 19 Mt CO<sub>2</sub>. Die Nutzung von Biokraftstoffen inklusive Biokerosin wird hierbei im Verkehrssektor mit Null-CO<sub>2</sub>-Emissionen bilanziert, da potentielle Emissionen von Treibhausgasen durch Biokraftstoffe in der Betrachtung der Vorkette und damit in anderen Sektoren des Energiesystems berücksichtigt werden. Die genannten Reduktionen entsprechen einer Reduktion gegenüber 2010 von 14 % im Jahr 2020 und 32 % im Jahr 2030. Absolut fällt die Reduktion mit 32 Mt CO<sub>2</sub> im ge-

samten Verkehr durch den hohen Reduktionsbeitrag des internationalen Luftverkehrs noch deutlicher aus.

Tab. 3-70: CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs im EWS

| CO <sub>2</sub> Verkehr         | 2010                  | 2015       | 2020       | 2025       | 2030       |
|---------------------------------|-----------------------|------------|------------|------------|------------|
|                                 | in Mt CO <sub>2</sub> |            |            |            |            |
| National                        | 152                   | 146        | 130        | 118        | 103        |
| Internationaler Flugverkehr     | 25                    | 27         | 29         | 29         | 27         |
| <b>National und Flugverkehr</b> | <b>177</b>            | <b>172</b> | <b>159</b> | <b>147</b> | <b>130</b> |

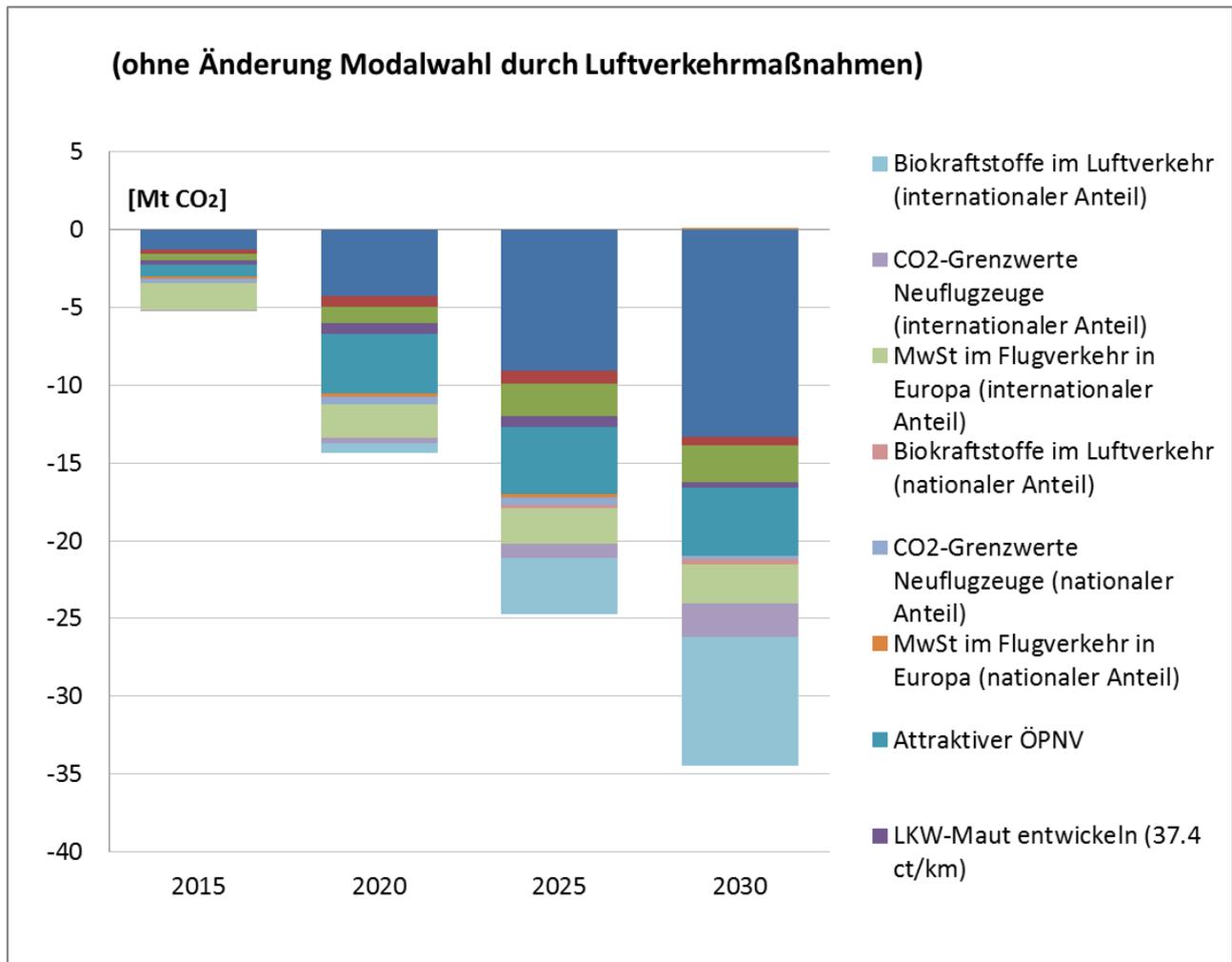
Quelle: Fraunhofer-ISI Berechnungen<sup>22</sup>

Die Abschätzung der Wirkung der Einzelmaßnahmen des EWS erfolgte im ASTRA-Modell. Die Ergebnisse in Abb. 3-5, und Tab. 3-71 wurden konsistent zum Rahmen des APS abgeschätzt. Die Reduktionswirkung in PJ oder Mt CO<sub>2</sub> ist im Vergleich zum APS aufgetragen (d. h. APS plus eine einzelne Maßnahme). Würde man die Wirkung im Vergleich zum EWS (d.h. EWS minus eine einzelne Maßnahme) ausweisen, dann wären die Potenziale wegen sich überschneidender Wirkung der Instrumente teilweise deutlich kleiner. Biokraftstoffe sind mit einem Emissionsfaktor von null belegt und werden damit bei den Einsparungen an CO<sub>2</sub> Emissionen berücksichtigt, wenn sich die durch Biokraftstoffe bereitgestellte Energiemenge gegenüber dem APS verändert. Die Veränderung der Emissionsfaktoren des Stromsektors im EWS gegenüber APS führt bereits dazu, dass im EWS der Verkehrssektor im Jahr 2030 rund 1 Mt CO<sub>2</sub> einspart.

Abb. 3-5 verdeutlicht den zeitlich unterschiedlichen Verlauf der Reduktionswirkung der Maßnahmen. Die Erhebung der Mehrwertsteuer im Luftverkehr führt sofort zu einer deutlichen CO<sub>2</sub>-Reduktion, während z.B. die Biokraftstoffe im Luftverkehr erst ab 2020 einen beobachtbaren Reduktionsbeitrag leisten können. Weitere wirkmächtige Maßnahmen sind die ambitionierten CO<sub>2</sub>-Standards für Pkw und die Entwicklung eines attraktiven ÖPNV-Angebotes. Die Wirkmechanismen der beiden Maßnahmen sind allerdings sehr unterschiedlich: Die CO<sub>2</sub>-Standards wirken direkt auf die Effizienz des anteilsmäßig größten Verursachers von CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehr, dem Pkw-Verkehr, und machen diesen effizienter. Eine Steigerung der Attraktivität des ÖPNV führt zu einer modalen Verlagerung weg vom Pkw, aber auch dem nicht-motorisierten Verkehr, hin zu Bussen und Bahnen. Einen signifikanten Reduktionsbeitrag leisten auch die CO<sub>2</sub>-Standards für SNF, während die übrigen Maßnahmen eher kleine Reduktionen generieren.

<sup>22</sup> Inkl. Emissionen im Stromsektor.

Abb. 3-5: Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Maßnahmen des EWS



Quelle: Fraunhofer-ISI Berechnungen

Tab. 3-71 gibt einen Überblick über die energetischen und CO<sub>2</sub>-Reduktionen der Verkehrsmaßnahmen des EWS. Regulierung (R) und marktbasierter, ökonomische Maßnahmen (Ö) stehen im Vordergrund, und werden ergänzt durch freiwillige Maßnahmen bzw. Ziele (F) sowie Informations-, Infrastruktur- und Organisations-Maßnahmen (I, O) im Bereich des ÖPNV. Die Maßnahmen werden alle im Zeitraum 2013 bis 2015 begonnen. Einige Maßnahmen werden bis in das Jahr 2030 weiter variiert und verschärft. Mit rund 39 % der Reduktionen ist die CO<sub>2</sub>-Standardsetzung für neue Pkw im Jahr 2030 die wichtigste Maßnahme, gefolgt von Biokraftstoffen im Luftverkehr (25 %) und attraktivem ÖPNV (13 %).

Tab. 3-71: Reduktionswirkungen der Verkehrs-Maßnahmen des EWS

| Maßnahme /<br>Umsetzung /<br>Institution   | Beschreibung /<br>Ziele (Wirkungs-<br>bereich)  | Um-<br>setzungs-<br>stand<br>(Wirkungs-<br>beginn) | 2015                                  | 2020  | 2025  | 2030  | 2015                    | 2020  | 2025  | 2030  |
|--|---|--|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------------------------|-------|-------|-------|
|  |   |  | Direkte<br>Emissionsminderungseffekte |       |       |       | Brennstoff-Einsparungen |       |       |       |
|  |   |  | Mio. t CO <sub>2</sub> -Äqu.          |       |       |       | PJ                      |       |       |       |
| CO <sub>2</sub> -Strategie PKW<br>ambitioniert   | R<br>Festsetzung weiterer<br>Grenzwerte der PKW-<br>Neuwagenflotte in D<br>für 2020 (95 g/km)<br>und 2030 (70 g/km)   | 2015   | -1,3                                  | -4,2  | -9,0  | -13,3 | -14,8                   | -59   | -133  | -207  |
| CO <sub>2</sub> -Strategie LNF<br>ambitioniert   | R<br>Festsetzung weiterer<br>Grenzwerte der LNF-<br>Neuwagenflotte in D<br>für 2020 (137 g/km)<br>und 2030 (109 g/km) | 2015   | -0,3                                  | -0,7  | -0,8  | -0,6  | 0,0                     | -4,4  | -7,0  | -8,6  |
| CO <sub>2</sub> -Strategie SNF<br>neu  | R<br>Reduktionsziel<br>gegenüber 2010 bis<br>2020: -15% und bis<br>2030 -35%.   | 2013   | -0,4                                  | -1,1  | -2,1  | -2,4  | -2,1                    | -10,8 | -27   | -37,1 |
| LKW-Maut<br>entwickeln (37.4<br>ct/km)   | Ö<br>Anpassung gemäß<br>erweiterter EU<br>Wegekostenrichtlinie,<br>Einbeziehung von<br>Schadstoff- und<br>Lärmkosten  | 2015   | -0,3                                  | -0,7  | -0,7  | -0,3  | 0,0                     | -4,5  | -5,6  | -5,3  |
| Attraktiver ÖPNV<br>(integriertes Angebot,<br>Netzverbesserungen,<br>etc.                    | I/O<br>Bis 2020<br>Verbesserung der<br>Fahrzeiten um 20%,<br>Reduktion der Kosten<br>um 20%                           | 2014   | -0,7                                  | -3,8  | -4,3  | -4,4  | -7,2                    | -52   | -52,1 | -52,1 |
| MwSt im Flugverkehr<br>in Europa (nationaler<br>Anteil)                                      | Ö<br>Erhebung der MwSt.<br>auf Flüge von D bis<br>zum ersten Stopp  | 2015   | -0,2                                  | -0,3  | -0,3  | 0,2   | 2,2                     | 2,4   | 2,0   | 2,5   |
| CO <sub>2</sub> -Grenzwerte<br>Neuflugzeuge<br>(nationaler Anteil)                           | R<br>Erhöhung der<br>jährlichen<br>Effizienzsteigerung<br>um 0,5%   | 2013   | -0,3                                  | -0,4  | -0,5  | -0,2  | -0,1                    | -0,6  | -1,3  | -2,7  |
| Biokraftstoffe im<br>Luftverkehr (nationaler<br>Anteil)                                      | F<br>Anstieg des Anteils<br>Biokraftstoffe im<br>Luftverkehr bis 2020<br>auf 2% und bis 2030<br>auf 21%               | 2013   | 0,0                                   | 0,0   | -0,2  | -0,3  | 0,0                     | -0,5  | -2,3  | -4,6  |
| MwSt im Flugverkehr<br>in Europa<br>(internationaler Anteil)                                 | Ö<br>Erhebung der MwSt.<br>auf Flüge von D bis<br>zum ersten Stopp  | 2015   | -1,8                                  | -2,1  | -2,3  | -2,5  | -24,0                   | -29   | -31,3 | -34,1 |
| CO <sub>2</sub> -Grenzwerte<br>Neuflugzeuge<br>(internationaler Anteil)                      | R<br>Erhöhung der<br>jährlichen<br>Effizienzsteigerung<br>um 0,5%   | 2013   | -0,1                                  | -0,4  | -1,0  | -2,2  | -0,8                    | -5,0  | -13,3 | -30   |
| Biokraftstoffe im<br>Luftverkehr<br>(internationaler Anteil)                                 | F<br>Anstieg des Anteils<br>Biokraftstoffe im<br>Luftverkehr bis 2020<br>auf 2% und bis 2030<br>auf 21%               | 2013   | 0,0                                   | -0,6  | -3,6  | -8,3  | 0,0                     | 0,3   | 3,9   | -0,8  |
| Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahme (ohne<br>Überlagerungseffekte, nur nationaler Anteil) |   |  | -3,4                                  | -11,3 | -17,9 | -21,4 | -22,1                   | -129  | -226  | -315  |
| Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahme (ohne<br>Überlagerungseffekte, Gesamt)                |   |  | -5,2                                  | -14,4 | -25   | -34,3 | -47,0                   | -163  | -266  | -379  |

Quelle: Fraunhofer-ISI.

Tab. 3-72 zeigt die Veränderungen des Energieverbrauchs in den drei Luftverkehrsmaßnahmen. Interessant ist zum einen, dass durch Einführung der Biokraftstoffe der Energieverbrauch nahezu unverändert bleibt, während er bei den anderen beiden Maßnahmen verringert wird. Die Erhöhung der MwSt. wirkt auf den Energieverbrauch über eine Reduktion der Nachfrage nach Luftverkehr und die CO<sub>2</sub>-Grenzwerte über eine Steigerung der Energieeffizienz. In beiden Maßnahmen steigen die Kosten des Luftverkehrs, so dass eine Änderung der Verkehrsmittelwahl eintritt, d.h. ein Teil des Luftverkehrs wird auf Straße und Schiene verlagert und erhöht dort den Energieverbrauch. Dies ist durch Berücksichtigung der „Veränderung der Verkehrsmittelwahl“ abgedeckt. Bei Biokraftstoffen wurde unterstellt, dass die Kosten ähnlich wie für Kerosin sein werden, so dass keine Kostenänderung eintritt und damit auch kein Einfluss auf die Verkehrsmittelwahl.

Tab. 3-72: Energieeinsparung der Luftverkehrs-Maßnahmen des EWS

|  | 2010  | 2015  | 2020  | 2025  | 2030   |
|--|-------|-------|-------|-------|--------|
|  | in PJ |       |       |       |        |
| MwSt im Flugverkehr in Europa                    |       |       |       |       |        |
| Kerosin national                                 | 0,0   | -1,5  | -1,6  | -1,5  | -1,4   |
| Veränderung der Modalwahl                        | 0,0   | 3,7   | 4,0   | 3,5   | 3,9    |
| Kerosin international                            | 0,0   | -24,0 | -28,9 | -31,3 | -34,1  |
| <b>Gesamte Änderung</b>                          | 0,0   | -21,9 | -26,5 | -29,3 | -31,6  |
| CO <sub>2</sub> Grenzwerte Neuf Flugzeuge (ICAO) |       |       |       |       |        |
| Kerosin national                                 | 0,0   | 0,0   | -0,3  | -0,6  | -1,2   |
| Veränderung der Modalwahl                        | 0,0   | 0,0   | -0,3  | -0,7  | -1,5   |
| Kerosin international                            | 0,0   | -0,8  | -5,0  | -13,3 | -29,5  |
| <b>Gesamte Änderung</b>                          | 0,0   | -0,9  | -5,5  | -14,5 | -32,2  |
| Bio-Kerosin forciert                             |       |       |       |       |        |
| Kerosin national                                 | 0,0   | 0,0   | -0,5  | -2,3  | -4,6   |
| Bio-Kerosin national                             | 0,0   | 0,0   | 0,6   | 2,9   | 5,4    |
| Veränderung der Modalwahl                        | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0    |
| Kerosin international                            | 0,0   | 0,0   | -8,7  | -48,7 | -113,8 |
| Bio-Kerosin international                        | 0,0   | 0,0   | 9,1   | 52,6  | 113,0  |
| <b>Gesamte Änderung</b>                          | 0,0   | 0,0   | 0,4   | 4,6   | 0,0    |

Quelle: Fraunhofer-ISI.

### Vergleich der Emissionsentwicklungen in den Szenarien

Für die abschließende Betrachtung der Gesamtbilanzierung aller Treibhausgase aus dem Verkehr werden die Emissionen des internationalen Schiffverkehrs mitberücksichtigt, der aufgrund der Systemgrenzen des zur Bewertung der Einzelmaßnahmen genutzten Modellansatzes in den vorhergehenden Kapiteln nicht enthalten war. Die Gesamtbilanzierung inklusive der Emissionen von CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O ist in Tab. 3-73 dargestellt. Im **Aktuelle-Politik-Szenario** verringern sich die Treibhausgasemissionen von 2008 bis 2020 um knapp 10 Mio. t CO<sub>2</sub> auf 176 Mio. t und bis 2030 um weitere knapp 10 Mio. t CO<sub>2</sub> auf etwa 167 Mio. t. Das entspricht für die gesamten Emissionseinsparungen einer Minderungsrate von 5 % bzw. 10 % für den Zeitraum 2008 bis 2020 bzw. 2030. Bezogen auf das Basisniveau von 1990 ergibt sich bis zum Jahr 2020 eine Emissionsminderung von 2 % und bis 2030 von ca. 7 %. Im Vergleich zum Jahr 2005 (das für

die Verpflichtungen innerhalb der Europäischen Union einen wichtigen Bezugspunkt bildet) resultieren Emissionsminderungen von etwa 7 % (2020) bzw. fast 12 % (2030).

Im **Energiewende-Szenario** sinken die Treibhausgasemissionen im Vergleich zum Aktuelle-Politik-Szenario um weitere 12 bzw. 30 Mio. t CO<sub>2</sub> (2020 bzw. 2030) auf insgesamt 165 bzw. 136 Mio. t. Im Vergleich zum Jahr 1990 entspricht dies einer Reduzierung der gesamten Emissionen bis 2020 von rund 8 % und bis 2030 um 24 %. Bezogen auf das Emissionsniveau von 2008 ergeben sich Treibhausgasminderungen von 12 % (2020) bzw. knapp 27 % (2030). Im Vergleich zum Basisjahr 2005 beträgt die Emissionsminderung im Verkehrssektor für das EWS knapp 13 % bis 2020 und 28 % bis zum Jahr 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.

Tab. 3-73: Emissionseinsparungen im Verkehrssektor im Zeitraum im Vergleich der Szenarien, 1990-2030

|   | 1990                     | 2005    | 2008    | 2015                     | 2020    | 2025    | 2030    |
|---|--------------------------|---------|---------|--------------------------|---------|---------|---------|
|   | kt CO <sub>2</sub> -Äqu. |         |         |                          |         |         |         |
| CO <sub>2</sub> -Emissionen   |                          |         |         |                          |         |         |         |
| Entwicklung 1990 - 2008   | 177.553                  | 187.159 | 184.289 |                          |         |         |         |
| Aktuelle-Politik-Szenario   |                          |         |         | 179.605                  | 174.653 | 170.739 | 165.205 |
| Energiewende-Szenario   |                          |         |         | 176.243                  | 163.144 | 150.669 | 135.055 |
| CH <sub>4</sub> -Emissionen   |                          |         |         |                          |         |         |         |
| Entwicklung 1990 - 2008   | 1.293                    | 204     | 162     |                          |         |         |         |
| Aktuelle-Politik-Szenario   |                          |         |         | 135                      | 121     | 109     | 98      |
| Energiewende-Szenario   |                          |         |         | 134                      | 112     | 99      | 89      |
| N <sub>2</sub> O-Emissionen   |                          |         |         |                          |         |         |         |
| Entwicklung 1990 - 2008   | 834                      | 1.488   | 1.328   |                          |         |         |         |
| Aktuelle-Politik-Szenario   |                          |         |         | 1.336                    | 1.334   | 1.316   | 1.286   |
| Energiewende-Szenario   |                          |         |         | 1.307                    | 1.243   | 1.156   | 1.043   |
| Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O  |                          |         |         |                          |         |         |         |
| Entwicklung 1990 - 2008   | 179.680                  | 188.850 | 185780  |                          |         |         |         |
| Aktuelle-Politik-Szenario   |                          |         |         | 181.077                  | 176.108 | 172.164 | 166.588 |
| Energiewende-Szenario   |                          |         |         | 177.684                  | 164.498 | 151.924 | 136.186 |
| Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O  |                          |         |         | Veränderung ab 1990 in % |         |         |         |
| Aktuelle-Politik-Szenario   |                          |         |         | 0,8                      | -2,0    | -4,2    | -7,3    |
| Energiewende-Szenario   |                          |         |         | -1,1                     | -8,4    | -15,4   | -24,2   |
| Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O  |                          |         |         | Veränderung ab 2005 in % |         |         |         |
| Aktuelle-Politik-Szenario   |                          |         |         | -4,1                     | -6,7    | -8,8    | -11,8   |
| Energiewende-Szenario   |                          |         |         | -5,9                     | -12,9   | -19,6   | -27,9   |
| Anmerkungen: hier ohne bewirtschaftlichen Verkehr und Pipeline-Transport sowie mit internationalem Flugverkehr und Hochseeschifffahrt |                          |         |         |                          |         |         |         |

Quelle: UBA (2011a+b), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut.

## **3.5 Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen - Strom sowie Prozesswärme und -dampf**

### **3.5.1 Rahmendaten**

Die wesentlichen gesamtwirtschaftlichen Rahmendaten für die Sektoren Industrie und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) sind die Entwicklung der realen Bruttowertschöpfung nach Wirtschaftszweigen sowie die Entwicklung der Zahl der Erwerbstätigen. Die diesbezüglichen Annahmen sind in Abschnitt 2.4 umfassend dargestellt. Für die energieintensiven Branchen der Industrie sind vor allem die physischen Produktionsdaten relevante Bestimmungsfaktoren des Energieverbrauchs.

Für diese sind in Tab. 3-74 und Tab. 3-75 die Annahmen zur Entwicklung der Produktion dargestellt. Während die Produktionsmengen im Jahr 2008 aus verschiedenen Statistiken der Verbände sowie vom Statistischen Bundesamt stammen, stellt die Fortschreibung eine Annahme dar, die in Diskussion mit Branchenvertretern validiert wurde. Die Entwicklung der Wertschöpfung in der übergeordneten Statistischen Einheit, dem NACE-2-Steller (nach europäischer Aktivitätsklassifizierung), muss dabei nicht unbedingt parallel zur physischen Produktion verlaufen, da sich die Wertschöpfung zum großen Teil an der Produktion der höherwertigen weniger energieintensiven Zwischenprodukten orientiert und weniger an der Produktion von energieintensiven Grundstoffen. Für den Sektor GHD ist neben der Anzahl der Beschäftigten die Energiebezugsfläche der zweite bedeutende Bestimmungsfaktor (siehe Tab. 3-76). Energiedienstleistungen wie die Raumbeleuchtung oder Raumluftechnische Anlagen sind eher an die Fläche als an die Anzahl der Beschäftigten gekoppelt. Diese wurde anhand von spezifischen Kennwerten ausgehend von den Annahmen zur Entwicklung der Anzahl der Beschäftigten ermittelt und ist in Kapitel 3.5.4 für alle Wirtschaftszweige in GHD dargestellt.

Tab. 3-74: Erzeugungsdaten für ausgewählte energieintensive Produkte/Prozesse, 2000-2030

|  | Einheit | 2000   | 2008   | 2020   | 2030   |
|--|---------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Eisen und Stahl</b>                 |         |        |        |        |        |
| Sintern                                | kt      | 27.959 | 30.074 | 27.079 | 23.042 |
| Oxygens tahl - Hochofen                | kt      | 33.052 | 31.193 | 28.721 | 24.565 |
| E lektros tahl - E AF                  | kt      | 13.324 | 14.639 | 17.018 | 17.797 |
| Walzstahl                              | kt      | 38.974 | 39.805 | 40.432 | 39.241 |
| Koksofen                               | kt      | 9.115  | 8.423  | 7.180  | 6.141  |
| Schmelzreduktionsverfahren             | kt      | -      | -      | 1.000  | 3.000  |
| Direktes Reduktionsverfahren           | kt      | 455    | 520    | 593    | 593    |
| <b>Nicht-Eisen Metalle</b>             |         |        |        |        |        |
| Aluminium primär                       | kt      | 644    | 606    | 550    | 485    |
| Aluminium sekundär                     | kt      | 572    | 721    | 824    | 899    |
| Aluminium Strangpressen                | kt      | -      | 590    | 617    | 680    |
| Aluminium Gießereien                   | kt      | 646    | 789    | 828    | 828    |
| Aluminium Walzen                       | kt      | -      | 1.896  | 2.069  | 2.281  |
| Kupfer primär                          | kt      | 310    | 301    | 350    | 350    |
| Kupfer sekundär                        | kt      | 399    | 389    | 301    | 301    |
| Kupferbearbeitung                      | kt      | 1.999  | 1.866  | 1.858  | 1.858  |
| Primärzink                             | kt      | 261    | 214    | 238    | 238    |
| Sekundärzink                           | kt      | 67     | 78     | 89     | 89     |
| <b>Papiergewerbe</b>                   |         |        |        |        |        |
| Papier                                 | kt      | 18.182 | 22.828 | 25.040 | 25.567 |
| Zellstoff - Verfahren                  | kt      | 873    | 1.520  | 1.355  | 1.107  |
| Holzstoff - Verfahren                  | kt      | 1.342  | 1.383  | 1.490  | 1.217  |
| Altpapierstoff                         | kt      | 13.677 | 15.600 | 17.242 | 17.929 |
| <b>Glas</b>                            |         |        |        |        |        |
| Behälterglas                           | kt      | -      | 4.451  | 4.601  | 4.818  |
| Flachglas                              | kt      | -      | 1.802  | 1.906  | 1.996  |
| Glasfasern                             | kt      | -      | 864    | 1.064  | 1.114  |
| Übriges Glas                           | kt      | -      | 398    | 504    | 527    |
| <b>Keramik</b>                         |         |        |        |        |        |
| Haushaltswaren                         | kt      | -      | 50     | 57     | 58     |
| Sanitärkeramik                         | kt      | -      | 64     | 65     | 65     |
| Technische Keramik u. Sonstige         | kt      | -      | 250    | 242    | 242    |
| Feuerfestkeramik                       | kt      | -      | 1.034  | 1.009  | 1.046  |
| Fliesen, Platten, andere               | kt      | -      | 1.259  | 1.289  | 1.332  |
| <b>Nicht metallische Mineralstoffe</b> |         |        |        |        |        |
| Klinker Brennen (trocken)              | kt      | 24.303 | 23.457 | 23.790 | 22.122 |
| Klinker Brennen (halbtrocken)          | kt      | 1.978  | 1.909  | -      | -      |
| Klinker Brennen (feucht)               | kt      | -      | -      | -      | -      |
| Aufbereitung von Kalkstein             | kt      | -      | 21.000 | 24.450 | 23.289 |
| Gips                                   | kt      | -      | 953    | 953    | 953    |
| Zementmahlen                           | kt      | 35.414 | 33.581 | 32.589 | 32.061 |
| Kalkmahlen                             | kt      | -      | 5.259  | 5.250  | 5.250  |
| Ziegel                                 | kt      | -      | 13.211 | 12.956 | 12.746 |
| Kalkbrennen                            | kt      | 7.328  | 7.012  | 7.000  | 7.000  |

Quelle: Fraunhofer-ISI.

Tab. 3-75: Erzeugungsdaten für ausgewählte energieintensive Produkte, 2000-2030, Fortsetzung

|                               | Einheit             | 2000  | 2008   | 2020   | 2030   |
|-------------------------------|---------------------|-------|--------|--------|--------|
| <b>Chemie</b>                 |                     |       |        |        |        |
| Adipinsäure                   | kt                  | -     | 428    | 456    | 552    |
| Ammoniak 1, Erdgas            | kt                  | 1.765 | 2.197  | 2.569  | 2.569  |
| Ammoniak 2, andere KW         | kt                  | 869   | 1.082  | 880    | 880    |
| Calciumcarbid                 | kt                  | -     | 223    | 190    | 190    |
| Industrieruß                  | kt                  | 346   | 656    | 665    | 665    |
| Chlor, Diaphragma-Verf.       | kt                  | 860   | 1.376  | 1.162  | -      |
| Chlor, Membran-Verf.          | kt                  | 2.035 | 2.505  | 3.615  | 4.777  |
| Chlor, Amalgan-Verf.          | kt                  | 642   | 883    | -      | -      |
| Ethylen 1, Naphtha            | kt                  | -     | 3.749  | 4.014  | 4.426  |
| Ethylen 2, gasförmige KW      | kt                  | -     | 400    | 428    | 472    |
| Ethylen 3, andere KW          | kt                  | -     | 800    | 856    | 944    |
| Methanol 1, Erdgas            | kt                  | 423   | 370    | 445    | 445    |
| Methanol 2, erdölbasierte KW  | kt                  | 1.403 | 1.226  | 1.478  | 1.478  |
| Methanol 3, Klärschlamm       | kt                  | 96    | 84     | 101    | 101    |
| Salpetersäure                 | kt                  | 2.436 | 5.324  | 5.604  | 5.604  |
| Sauerstoff                    | tsd. m <sup>3</sup> | -     | 7.210  | 8.082  | 8.910  |
| Polycarbonat                  | kt                  | -     | 379    | 601    | 727    |
| Polyethylen                   | kt                  | -     | 2.728  | 3.287  | 3.624  |
| Polypropylen                  | kt                  | 1.337 | 2.006  | 2.227  | 2.455  |
| Polysulfone                   | kt                  | -     | 288    | 449    | 594    |
| Soda                          | kt                  | -     | 1.567  | 1.415  | 1.415  |
| TDI                           | kt                  | -     | 763    | 528    | 639    |
| Titandioxid 1, Sulfat         | kt                  | -     | 347    | 369    | 406    |
| Titandioxid 2, Chlor          | kt                  | -     | 108    | 114    | 126    |
| <b>Nahrungsmittel</b>         |                     |       |        |        |        |
| Zucker                        | kt                  | -     | 3.655  | 3.963  | 3.884  |
| Molkerei                      | kt                  | -     | 12.533 | 14.298 | 14.015 |
| Bierbrauen                    | kt                  | -     | 9.991  | 9.951  | 9.560  |
| Fleischverarbeitung           | kt                  | 3.116 | 4.208  | 4.880  | 4.929  |
| Backwaren                     | kt                  | -     | 4.661  | 4.504  | 4.459  |
| Stärke                        | kt                  | -     | 1.441  | 1.885  | 1.866  |
| <b>Kunststoffverarbeitung</b> |                     |       |        |        |        |
| Extrusion                     | kt                  | -     | 4.302  | 5.006  | 5.438  |
| Spritzgießen                  | kt                  | -     | 2.166  | 2.521  | 2.738  |
| Blaßformen                    | kt                  | -     | 945    | 1.099  | 1.194  |

Quelle: Fraunhofer-ISI.

Tab. 3-76: Energiebezugsfläche je Wirtschaftszweig im Sektor GHD

| Wirtschaftszweig   | WZ 2008   | 2.008               | 2.020 | 2.030 |
|--|-----------|---------------------|-------|-------|
|  |           | Mio. m <sup>2</sup> |       |       |
| Erziehung und Unterricht                                 | P         | 144                 | 162   | 162   |
| Erbringung von Finanz- und Versicherungsdienstleistungen | K         | 38                  | 37    | 38    |
| Gesundheits- und Sozialwesen                             | Q         | 116                 | 140   | 143   |
| Gastgewerbe  | I         | 85                  | 92    | 89    |
| Sonstige Wirtschaftszweige                               | L+M+N+R+S | 361                 | 396   | 382   |
| Öffentliche Verwaltung, Verteidigung; Sozialversicherung | O         | 160                 | 151   | 140   |
| Verkehr und Lagerei, Information und Kommunikation       | H+J       | 119                 | 117   | 121   |
| Handel; Instandhaltung und Reparatur von Fahrzeugen      | G         | 385                 | 379   | 376   |
| Alle Wirtschaftsbereiche                                 |           | 1410                | 1472  | 1451  |

Quelle: Fraunhofer-ISI.

### 3.5.2 Maßnahmen

#### Aktuelle-Politik-Szenario

Für das Aktuelle-Politik-Szenario werden die im Folgenden beschriebenen politischen Maßnahmen spezifisch untersucht:

- a) **Einführung des EU-Emissionshandelssystems** (siehe auch Kapitel 3.1 zu übergreifenden Instrumenten). In der Industrie wirkt der Emissionshandel vorwiegend auf die energieintensiven Branchen wie Metallerzeugung und -bearbeitung, Zementherstellung sowie die Glas- und Papierproduktion. In der Post-Kyoto-Phase, ab 2013, wird der Geltungsbereich um zusätzliche Branchen (vorwiegend aus der chemischen Industrie und der NE-Metallindustrie) erweitert und die Zertifikate auf Basis von Benchmarking zugeteilt.
- b) **Sonderfonds Energieeffizienz in KMU**: Der vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie und der KfW Förderbank Ende 2007 initiierte „Sonderfonds Energieeffizienz in KMU“ richtet sich an kleine und mittlere Unternehmen (KMU) und soll dort Anreize für Investitionen zur Förderung der Energieeffizienz schaffen (BMWi 2007, KfW 2007). 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 für Investitionen zur Verbesserung der Energieeffizienz im Rahmen des „ERP-Energieeffizienzprogramm APS“ (siehe auch KfW Förderbank 2008a).
- c) **Mindesteffizienzstandards I (EU-Ökodesign-Richtlinie)**: Die Ökodesign-Rahmenrichtlinie 2009/125/EG (vormals Richtlinie 2005/32/EG) stellt den Rechtsrahmen für die Festlegung von Mindesteffizienzstandards für bestimmte energieverbrauchsrelevante Produkte im europäischen Binnenmarkt dar. Die Richtlinie 2009/125/EG wurde durch das Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetzes (EVPG) in deutsches Recht umgesetzt. Die Mindesteffizienzstandards werden nicht durch die Richtlinie selbst, sondern

erst durch die auf ihrer Grundlage erlassenen Durchführungsmaßnahmen etabliert, in der Regel in der Form von direkt in den Mitgliedsstaaten geltenden EU-Verordnungen. Daneben hat die europäische Kommission auch die Möglichkeit, freiwillige Selbstvereinbarungen der Industrie als Alternative zu ordnungsrechtlichen Maßnahmen anzuerkennen. Die Erfüllung dieser Anforderungen muss gegeben sein, damit das Produkt die CE-Kennzeichnung tragen und damit in der EU in Verkehr gebracht oder in Betrieb genommen werden darf. Die Anforderungen werden auf Grundlage einer technischen, wirtschaftlichen und umweltbezogenen Analyse festgelegt. Hierzu wird für jede Produktgruppe eine Vorstudie durchgeführt, die eine Marktanalyse und eine technische Analyse der Produkte sowie die Ausarbeitung von Standardszenarien in verschiedenen Varianten beinhaltet. Mit Stand Januar 2012 befinden sich 11 Verordnungen in Kraft und weitere rund 20 Verordnungen und Selbstverpflichtungen im Regelsetzungsverfahren. Darüber hinaus sind 9 Vorstudien in Bearbeitung. Es lassen sich derzeit drei Kategorien von Produktgruppen unterscheiden, die alle bereits im APS berücksichtigt werden sollen, für die jedoch unterschiedliche Annahmen zu treffen sind:

- Produktgruppen, für die es bis zu Beginn der Modellierung Durchführungsmaßnahmen gibt. Dies gilt für folgende Geräte (die teilweise nur dem Sektor private Haushalte zugeordnet werden): einfache Set-Top-Boxen, Fernsehgeräte, Standby- und Scheinaus-Verluste, externe Netzteile, Haushaltskühl- und -gefriergeräte, Haushaltslampen mit ungebündeltem Licht, Heizungsumwälzpumpen, Straßen- und Bürobeleuchtung, Elektromotoren, Ventilatoren, Haushaltswaschmaschinen sowie Haushaltsgeschirrspüler. Gerätegruppenübergreifend gibt es noch eine Verordnung zu einem Teil der Leerlaufverluste. Für diese Produktgruppen wird die Einsparung im APS mit den Anforderungen bzw. Anforderungsstufen berechnet, die in der Durchführungsmaßnahme beschlossen wurden.
- Produktgruppen, für die zumindest eine Vorstudie in Bearbeitung oder abgeschlossen ist oder ggf. schon ein Verordnungsentwurf vorliegt, werden im APS auf Basis der geringsten Lebenswegkosten (Least Life Cycle Cost – LLCC) modelliert, die in den Vorstudien, z. T. noch im Entwurfsstadium, ausgewiesen werden. Der LLCC-Standard ist derjenige, der mit einer relativ großen Wahrscheinlichkeit mit der endgültigen Durchführungsmaßnahme implementiert wird.
- Produktgruppen, für die noch keine Vorstudie begonnen hat. Für diese Produktgruppen müssen im APS Annahmen zum erwarteten Mindeststandard getroffen werden, die der LLCC-Variante entsprechen (Expertenschätzung).

Für die Modellierung der Standards wird angenommen, dass diese von den Akteuren eingehalten werden. Eine Marktüberwachung samt wirkungsvollem Vollzug ist hierfür eine wichtige Voraussetzung, die jedoch nicht separat modelliert wird. Das gleiche gilt für bei einzelnen Produkten vorhandenen, freiwilligen Verbrauchskennzeichnungen. Schon bestehende Pflichtkennzeichnungen beziehen sich nur auf Haushalts- und Fernsehgeräte und werden dort berücksichtigt. Eine Modellierung von freiwilligen Selbstverpflichtungen der Industrie, wie sie voraussichtlich für komplexe Set-Top-Boxen und für Geräte mit Druckfunktion getroffen werden, wird von der jeweiligen Ausgestaltung abhängig gemacht.

- d) **Öffentliche Beschaffung energieeffizienter Produkte:** Das Bundeskabinett hat im Rahmen ihrer Beschlüsse zur Energiewende vom 6. Juni 2011 die bereits im Energiekonzept vom 28. September 2010 (BMW, BMU 2010) enthaltene Ankündigung bestätigt, für die öffentliche Beschaffung hohe Energieeffizienzkriterien als ein wichtiges Kriterium bei der Vergabe öffentlicher Aufträge rechtlich verbindlich zu verankern. Dazu soll in einem ersten Schritt die Vergabeordnung (VgV) entsprechend angepasst werden.<sup>23</sup> Grundsätzlich sollen Produkte und Dienstleistungen beschafft werden, die im Hinblick auf ihre Energieeffizienz die höchsten Leistungsniveaus haben und zur höchsten Effizienzklasse gehören.

Im Instrumentenportfolio berücksichtigt, aber nicht einer spezifischen Analyse unterzogen werden die folgenden flankierenden Instrumente:

- e) **Änderungen im Energiesteuergesetz:** Zum 1. Januar 2011 sind Änderungen im Energiesteuergesetz in Kraft getreten (Spitzenausgleich, Ermäßigung Produzierendes Gewerbe).
- f) **Elektronische Stromzähler:** Durch eine Novelle des Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG) zur Liberalisierung des Messwesens werden innovative Verfahren der Strommessung sowie auch lastabhängige, zeitvariable Tarife ermöglicht und gefördert. Im APS wird nur der Einsatz von elektronischen Stromzählern in Neubauten und seine Wirkung auf den Stromverbrauch modelliert. Der Einsatz elektronischer Stromzähler wird nur für GHD modelliert.
- g) **KfW-Programme zur Förderung der Energieeffizienz in Industrie und GHD:** KfW-Umweltprogramm, ERP-Energieeffizienzprogramm, ERP-Umwelt- und -Einsparprogramm, BMU-Programm zur Förderung von Demonstrationsvorhaben. 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).
- h) **Freiwillige Produktkennzeichnungen für energiebetriebene Produkte (Blauer Engel, Energy Star, EU-Blume):** Seit 2009 ist Klimaschutz ein Schwerpunkt des Umweltzeichens Blauer Engel. Mittlerweile gibt es für mehr als 40 Produktgruppen entsprechende Vergabekriterien. Diese reichen vom Kühlschrank über den Computer bis zum Wasserkocher. Das „Energy-Star-Programm“ stammt aus den USA und umfasst in der EU lediglich Bürogeräte. In beiden Systemen erfolgt keine Unterteilung in Effizienzklassen sondern das jeweilige Zeichen wird für alle Geräte vergeben, die einen festgelegten Mindeststandard erfüllen.

---

<sup>23</sup> Entwurf einer Vierten Verordnung zur Änderung der Verordnung über die Vergabe öffentlicher Aufträge, Stand 06.06.2011. (<http://bmwi.de/BMWi/Navigation/energie,did=405004.html>).

## Energiewende Szenario

Im Energiewende-Szenario werden die folgenden Maßnahmen einer spezifischen Analyse unterzogen:

- a) **Mindesteffizienzstandards II (EU-Ökodesign-Richtlinie):** Produktgruppen, für die bereits Durchführungsmaßnahmen beschlossen sind oder Produktstudien durchgeführt wurden, werden über die Modellierung im APS hinaus – ab einer Revisionszeit (für die Produktgruppen verschieden) – auf Basis der Besten Verfügbaren Technik (BVT) modelliert. Im Gegensatz zur Modellierung der geringsten Lebenszykluskosten im APS, werden durch diese anspruchsvollere Umsetzung weitere Einsparungen realisiert.
- b) **Änderungen der Energiebesteuerung:** Für das EWS werden die im Energiekonzept vom 28. September 2010 genannten Änderungen der Energiebesteuerung angenommen: „Die Bundesregierung wird ab 2013 den im Haushaltsbegleitgesetz zu beschließenden Spitzenausgleich im Rahmen der Energie- und Stromsteuer nur noch gewähren, wenn die Betriebe einen Beitrag zu Energieeinsparungen leisten. Der Nachweis der Einsparung kann durch die zertifizierte Protokollierung in Energiemanagementsystemen oder durch andere gleichwertige Maßnahmen erfolgen“ (BMW, BMU 2010).
- c) **Ausbau von Förderprogrammen für KMU:** Wie im Energiekonzept dargestellt, sollen erfolgreiche Programme zur Förderung der Energieberatung für KMU bedarfsorientiert ausgebaut und weiterentwickelt werden sowie die Förderung von Effizienzmaßnahmen mittels zinsgünstiger Kredite und Zuschüsse zielorientiert verbessert werden.
- d) **Gemeinsame Beschaffung energieeffizienter Produkte.** Verstärkung der Maßnahme aus dem APS, die auf den gesamten öffentlichen Sektor und den Bereich der Finanzdienstleistungen, welcher eine relative homogene Struktur aufweist und sich deshalb für gemeinsame Beschaffungen eignet, ausgedehnt wird.

Zu den flankierende Instrumenten, die für das Energiewende-Szenario zwar berücksichtigt, aber keiner spezifischen Analyse unterzogen werden gehören:

- e) **Elektronische Stromzähler (Ausweitung auf Gebäudebestand):** Die Maßnahme ist eine Erweiterung von Maßnahme h) im APS und beinhaltet eine Ausweitung der Einführung elektronischer Stromzähler über Neubauten hinaus auch im Gebäudebestand im GHD-Sektor.
- f) **Ausweitung der verbindlichen Energieverbrauchskennzeichnung auf weitere Produkte sowie zusätzliche Bestgeräte-kennzeichnung:** Diese Maßnahme fasst zwei Maßnahmen zusammen, die in Politikszenerien V noch einzeln betrachtet wurden.
- g) **Die Ausweitung der verbindlichen (EU-) Energieverbrauchskennzeichnung:** siehe Beschreibung in Kapitel 3.6.2.
- h) **Bestgeräte-kennzeichnung:** Analog zu den elektrischen Haushaltsgeräten ist auch für elektrische Anwendungen im GHD- und Industriesektor ergänzend zu diesen reinen EU-Maßnahmen – falls EU-rechtlich möglich - eine zusätzliche Bestgeräte-kennzeichnung denkbar, wie sie in den Eckpunkten für das Integriertes Energie- und Klimaprogramm der Bundesregierung (IEKP-Maßnahme 8) vorgeschlagen wird. Ansätze dazu liegen bereits mit dem Umweltzeichen „Blauer Engel“ in Verbindung mit dem Vorhaben „TOP 100“ vor.

### 3.5.3 Methodik

Im Folgenden wird das für die Berechnungen des Energiebedarfs von GHD und der Industrie eingesetzte Energienachfragemodell FORECAST beschrieben. Das Modell gehört zur Gruppe der Bottom-up-Modelle, die besonders geeignet sind, die Wirkung von Effizienztechniken und Maßnahmen auf den langfristigen Energiebedarf zu simulieren.

Bottom-up Modelle berechnen Energieverbrauch und Emissionen sowie Kosten und Wirkungen von Einsparmaßnahmen auf Einzelprozessebene und bilden damit die Technikstruktur vom Industrie- und GHD-Sektor im Modell ab. Hierzu greifen die Modelle auf statistische Daten, Veröffentlichungen und Expertenmeinungen zu "best-practice"-Prozessen zurück. Dieser Ansatz ermöglicht zum einen, konkrete technologische Trends und ihre Auswirkungen auf die Dynamik des Energieverbrauchs zu berücksichtigen. Zum anderen erlaubt er Rückschlüsse auf die Realitätsnähe der Szenarien zu ziehen, indem jedem Szenario eine spezifische technologische Entwicklung zugrunde liegt. Für die Sektoren Industrie und GHD wird das jeweilige Modul des FORECAST-Modells verwendet. Die beiden Module unterscheiden sich zwar entsprechend der unterschiedlichen Struktur und Datenverfügbarkeit der beiden Sektoren, sind jedoch vom allgemeinen Aufbau sehr ähnlich, weshalb folgende Beschreibung des Modellablaufs für beide Module gilt.

Zunächst werden die wesentlichen (exogenen) Bestimmungsfaktoren (Aktivitätsgrößen) ermittelt, deren Entwicklung eine möglichst direkte Korrelation mit dem Energieverbrauch aufweist (Industrielle Produktion, Anzahl Beschäftigte oder Nutzfläche). Prognosen dieser Bestimmungsfaktoren ermöglichen eine Projektion des Energieverbrauchs, ohne dass technologischer Wandel zu gesteigerter Energieeffizienz stattfindet (Frozen Efficiency). In einem zweiten Schritt wird die Entwicklung der Technikstruktur modelliert, welche direkte Auswirkungen auf den Energieverbrauch zeigt. Dieser technologische Wandel findet im Modell über die Diffusion von Effizienztechnologien und -maßnahmen statt. Die Diffusionsgeschwindigkeit hängt direkt mit der Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen zusammen. Um jedoch auch die Tatsache zu berücksichtigen, dass selbst wirtschaftliche Maßnahmen mit sehr kurzer Amortisationszeit aufgrund verschiedenster Hemmnisse nur langsam Verbreitung finden, wird das Kriterium für die Wirtschaftlichkeit deutlich ambitionierter als für andere Investitionen angenommen (z.B. interner Zinsfuß für die Barwertberechnung von 70 % in GHD). Jedes der beiden Module berücksichtigt die Charakteristika von Technologiestruktur und Energieverbrauch des Sektors. So werden für die Industrie die energieintensiven Prozesse besonders detailliert abgebildet, während der nicht-energieintensive Teil über Anteile der Querschnittstechniken (wie Elektromotoren und deren Anwendung) modelliert wird. Für den Sektor GHD kann aufgrund der eher homogenen Struktur der Energiedienstleistungen ein umfassendes Bottom-up-Mengengerüst aufgestellt werden. Dieses berechnet sämtliche Energiedienstleistungen bottom-up und verknüpft sie mit den eingangs erwähnten Bestimmungsfaktoren Beschäftigte und Nutzfläche.

Der für Bottom-up-Modelle typische sehr hohe Detaillierungsgrad bezüglich der technischen 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. Das Energienachfragemodell FORECAST benötigt z. B. die Energiepreise, Produktions- und Wirtschaftsentwicklungen, Parameter neuer Techniken und ihre Kosten als exogene Daten, die nicht von anderen Modellparametern abhängig sind. Eine Übersicht der Modelleingangsparameter ist in Tab. 3-77 gezeigt.

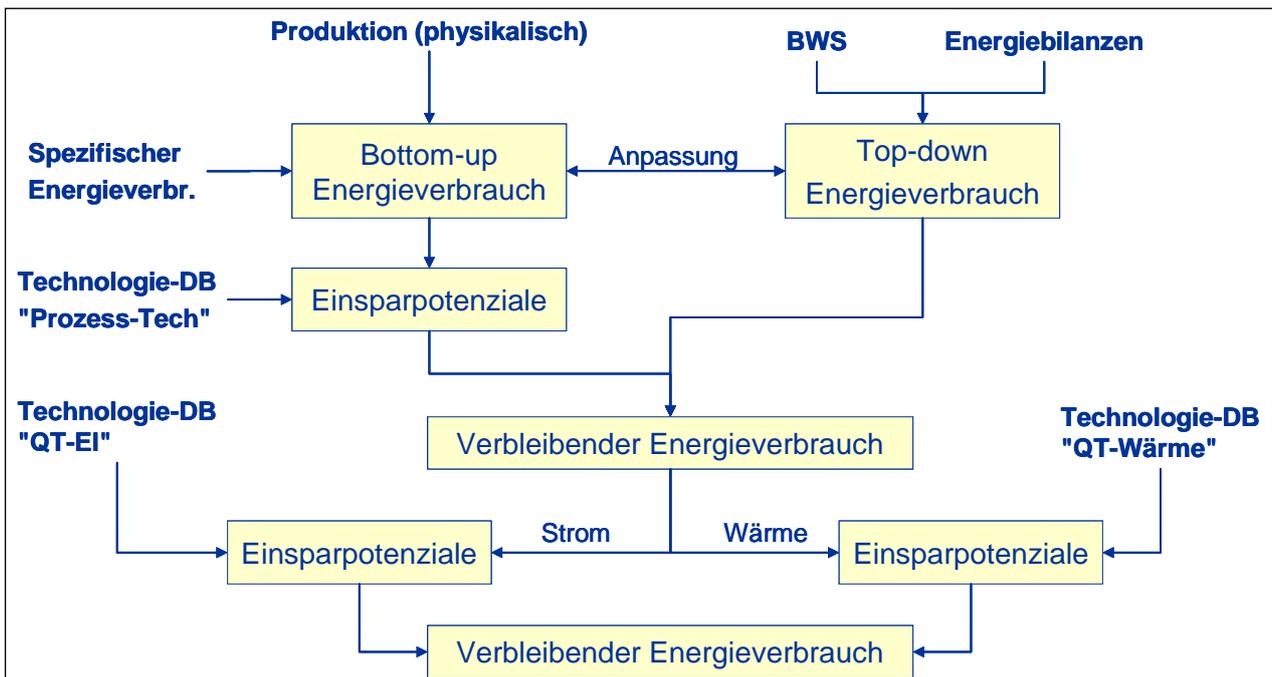
Tab. 3-77: Eingangsrößen der Module GHD und Industrie des Modells FORECAST

| Größen Modell                            | Gewerbe, Handel und Dienstleistung (GHD)   | Industrie   |
|--|--|---|
| Bestimmungsfaktoren/<br>Aktivitätsgrößen | - Fläche je Beschäftigtem<br>- Anzahl Beschäftigte   | - Physische Produktion (t)<br>- Wertschöpfung   |
| Preise                                   | - Energieträgerpreise (Gewerbe)  | - Energieträgerpreise (Industrie)<br>- EUA Preise   |
| Energiebilanzen und Emissionsfaktoren    | - AGEB Energiebilanzen<br>- Emissionsfaktoren je Energieträger   | - AGEB Energiebilanzen<br>- Emissionsfaktoren je Energieträger  |
| Technikdaten                             | <b>Energiedienstleistungen:</b><br>- Technologietreiber<br>- Installierte Leistung<br>- Jährliche Volllaststunden<br><br><b>Einsparoptionen:</b><br>- Einsparpotenzial<br>- Kosten<br>- Lebensdauer<br>- Diffusion | <b>Prozesse:</b><br>- Spez. Energieverbrauch<br><br><b>Einsparoptionen:</b><br>- Einsparpotenzial<br>- Kosten<br>- Lebensdauer<br>- Diffusion |

Quelle: Fraunhofer ISI

Im Modul des Industriesektors (FORECAST-Industry) werden prozessspezifische Techniken und Querschnittstechniken unterschieden. Prozessspezifische Techniken können einzelnen Prozessen des Industriesektors eindeutig zugewiesen werden - als Beispiel kann der Hochofenprozess bei der Stahlherstellung genannt werden. Ein Vorteil des Bottom-up-Ansatzes ist insbesondere die Berücksichtigung der physischen Produktion dieser energieintensiven Prozesse. Im Industriemodell werden 72 Produkte bzw. Prozesse abgebildet (Siehe Tab. 3-74 und Tab. 3-75). Querschnittstechniken finden in sämtlichen Branchen und verschiedenen Prozessen Anwendung: Elektromotoren werden zum Beispiel sowohl in der Papierherstellung als auch in der Stahlherstellung eingesetzt (siehe Abb. 3-6). Beiden Technikgruppen sind Einsparmaßnahmen zur Effizienzverbesserung zugeordnet, in der Regel in der Form neuer Techniken oder organisatorischer Maßnahmen.

Abb. 3-6: Vereinfachte Darstellung des Industriemoduls Forecast-Industry



Quelle: Fraunhofer ISI

Querschnittstechniken sind in die folgenden beiden Gruppen unterteilt (in obiger Abbildung als „QT-EI“ und „QT-Wärme“ bezeichnet):

- QT-EI: Vorwiegend Elektromotoren und Arbeitsmaschinen wie Kompressor, Ventilator oder Pumpe samt der dazugehörigen Systeme zur Bereitstellung von mechanischer Energie oder Kälte, weiterhin Beleuchtungsanlagen;
- QT-Wärme: Industrielle Verbrennungsanlagen im Temperaturbereich unterhalb 500°C (Kessel, reine industrielle Dampferzeuger). Anlagen im höheren Temperaturbereich sind häufig sehr prozessspezifisch und werden somit in den einzelnen Prozessen berücksichtigt.

Die Branchenstruktur des Industriemodells ist dabei wie folgt aufgebaut:

- Ernährung und Tabak
- Papiergewerbe
- Grundstoffchemie
- Sonstige chemische Industrie
- Gummi- u. Kunststoffwaren
- Glas u. Keramik
- Verarbeitung v. Steine u. Erden
- Maschinenbau
- Metallverarbeitung
- Fahrzeugbau
- Sonstiges Verarbeitende Gewerbe

Für die Wirtschaftszweige Maschinenbau, Metallverarbeitung, Fahrzeugbau und das sonstige Verarbeitende Gewerbe wurden keine physischen Produktionsmengen berücksichtigt, da die

Struktur dieser Sektoren mit einer Vielzahl verschiedener Produkte und Prozesse sehr heterogen ist. Somit basieren die Projektionen in diesen Sektoren ausschließlich auf den Prognosen für die Entwicklung der Wertschöpfung.

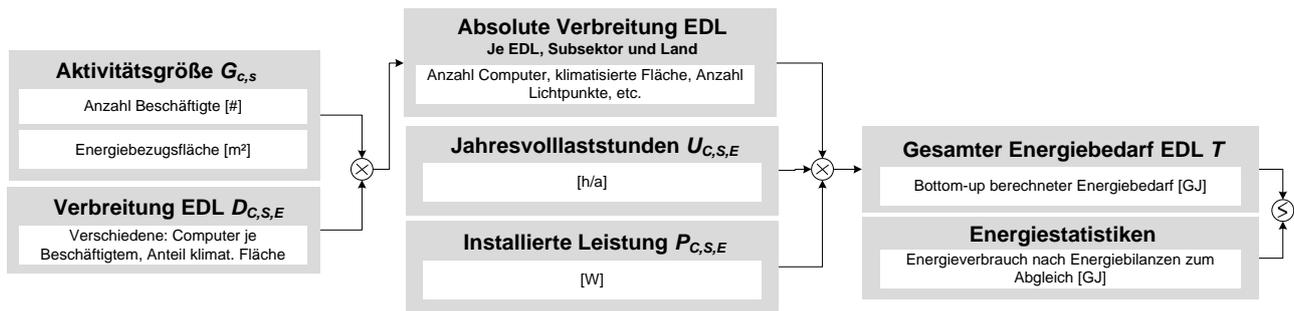
Das Modul für den Sektor GHD (Forecast-Tertiary) ist grundsätzlich dem Industriemodul ähnlich, mit dem Unterschied, dass es nicht explizit in Querschnitts- und Prozesstechniken unterscheidet sondern stattdessen Energiedienstleistungen abbildet. Diese werden bottom-up ausgehend von den übergeordneten Bestimmungsfaktoren Anzahl der Beschäftigten oder Nutzfläche je Wirtschaftszweig berechnet und in ein umfassendes Mengengerüst eingebunden. Des Weiteren ist nicht die Bruttowertschöpfung sondern die Anzahl der Erwerbstätigen der wichtigste Bestimmungsfaktor des Energieverbrauchs (vgl. Tab. 3-76). 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.

Für die Berechnungen werden weiterhin die folgenden acht Wirtschaftszweige unterschieden.

- Beherbergungs- und Gaststätten (H)
- Gesundheits-, Veterinär- und Sozialwesen (N)
- Erziehung und Unterricht (M)
- Groß- und Einzelhandel (G)
- Verkehr und Nachrichtenübermittlung (I)
- Sonstige Dienstleistungen (Abfall, Sport, soziale Dienstleistungen) + Grundstücks- und Wohnungswesen (O+K)
- Öffentliche Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung (L)
- Kreditinstitute und Versicherungen (J)

Das Mengengerüst zur Berechnung von Stromverbrauch und Einsparpotenzialen der Energiedienstleistungen ist dabei wie in Abb. 3-7 dargestellt aufgebaut. Ausgehend von den globalen Bestimmungsfaktoren Beschäftigte oder Nutzfläche des Sektors wird mit Hilfe eines weiteren, der Energiedienstleistung zugeordneten spezifischen Bestimmungsfaktors (z.B. Lichtpunkte pro Fläche oder Computer je Beschäftigtem) das absolute Nachfrageniveau nach einer Energiedienstleistung berechnet. Multipliziert mit den jährlichen Volllaststunden und der mittleren installierten Leistung ergibt sich der absolute Energiebedarf der Energiedienstleistung. Die Wirkung von Effizienzmaßnahmen setzt bei der spezifischen installierten Leistung oder den jährlichen Volllaststunden an, die abhängig von der Wirtschaftlichkeit der Effizienzmaßnahmen gesenkt werden.

Abb. 3-7: Vereinfachte Darstellung des Mengengerüsts für den Sektor GHD im Modell Forecast-Tertiary



Quelle: Fraunhofer ISI

Da Bottom-up-Modelle den Energiebedarf ausgehend von der Verbreitung einzelner Techniken bestimmen ist es für eine Modellierung von politischen Maßnahmen zunächst notwendig, diese anhand ihrer Wirkungen auf der Technikebene ins Modell zu übertragen. Es geht also nicht direkt in das Modell ein, wie sehr eine Maßnahme den Energiebedarf beeinflusst, sondern stattdessen wie stark sie die Verbreitung von Effizienztechniken verändert. Gerade technikorientierte Maßnahmen (z.B. Mindeststandards für elektrische Geräte) lassen sich daher aufgrund der detaillierten Struktur von Bottom-up-Energienachfragemodellen sehr realitätsnah im Modell abbilden.

Als Beispiel kann hier Energieeinsparcontracting bei industriellen Beleuchtungssystemen genannt werden. Das technische 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 politischen Instrumenten unterworfen, die nicht direkt einer Technik bzw. einer Technikgruppe zugeordnet werden können. Hier muss möglichst anhand empirischer Untersuchungen abgeschätzt werden, auf welche Energiedienstleistungen das Instrument wirkt. Z. B. der „Sonderfonds Energieeffizienz in KMU“ fördert allgemein Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz in KMU. Laut Evaluierung (IREES, Fraunhofer ISI 2010) werden jedoch vorwiegend Maßnahmen im Bereich der Raumwärme und Querschnittstechniken umgesetzt. Weiterhin ist die gesamte jährliche Wirkung des Programms bekannt. Anhand letzterer lassen sich die Annahmen auf Technikebene kalibrieren.

Generell lassen sich technikorientierte ordnungsrechtliche Instrumente mit der höchsten Robustheit abbilden, da sowohl die Entscheidung des Akteurs entfällt (bei Annahme vollständiger Befolgung) als auch die Abgrenzung der (technischen) Wirkung eindeutig ist. Beispiele hierfür sind Mindeststandards zum spezifischen Energiebedarf einzelner Produkte oder Produktgruppen.

Die Modellumgebung erlaubt weiterhin die Modellierung von ökonomischen Anreizinstrumenten wie dem Emissionshandel oder Energiesteuern. Indem die Instrumente die

Preise für Energieträger oder Emissionen erhöhen, wirken sie sich positiv auf die Wirtschaftlichkeit von Effizienztechniken aus. Die dadurch zusätzlich wirtschaftlich gewordenen Maßnahmen stellen dann die Wirkung des Instruments 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. Wenngleich die Zuordnung von Überschneidungen zu einzelnen Maßnahmen einer gewissen Willkür unterworfen ist, so stellt der Modellierungsansatz, der zu jedem Zeitpunkt ein konsistentes Mengengerüst verlangt, sicher, dass auch bei einer Vielzahl von Instrumenten, die ähnliche Anwendungen adressieren, die gesamten Energieeinsparungen eine technisch mögliche Entwicklung widerspiegeln.

### 3.5.4 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 3.5.1 diskutiert.

#### Aktuelle-Politik-Szenario

Den Untersuchungen zum Aktuelle-Politik-Szenario werden die folgenden Annahmen zugrunde gelegt:

- a) Für die Quantifizierung der Wirkungen des *EU-Emissionshandels* stellen die Zertifikatspreise eine wichtige Annahme dar. Das Modell FORECAST-Industry ermöglicht aufgrund der prozessspezifischen Struktur die Preise der Emissionszertifikate nur für Prozesse, die tatsächlich dem Emissionshandel unterworfen sind, zu berücksichtigen (siehe Tab. 3-78). Eine Schwierigkeit bei der Modellierung ist dennoch 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 einigen 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 entsprechend Tab. 3-78 dem Emissionshandel zugeordnet, wobei zwischen der Kyoto- und der Post-Kyoto-Handelsperiode unterschieden wird. Ausnahmeregelungen wie z. B. der Ausschluss von Papier- und Kartonfabriken mit einer jährlichen Kapazität unter 7300 Tonnen Papier können nicht berücksichtigt werden. Diese kleinen Anlagen fallen aufgrund des sehr niedrigen Beitrags zu den gesamten THG-Emissionen der Branche allerdings kaum ins Gewicht; diese Vereinfachung ist daher vertretbar.<sup>24</sup>

Tab. 3-79 zeigt beispielhaft für das Jahr 2020, wie sich die THG-Zertifikatspreise auf die Energieträgerpreise auswirken. Während der Aufpreis gerade für CO<sub>2</sub>-intensive Energieträger mit niedrigen Preisen relativ hoch ausfällt (besonders Kohleprodukte), ist die

---

<sup>24</sup> zum Vergleich: die Kapazität einer typischen Papiermaschine liegt bei etwa 300.000 Tonnen pro Jahr, während nur Anlagen mit weniger als 7.300 Tonnen ausgeschlossen sind.

Steigerung z. B. für Erdgas nur bei 8 %. Da Erdgas in vielen Branchen bereits der dominanteste Energieträger ist, ist in diesem Fall die induzierte Wirkung auf Investitionen in Effizienzmaßnahmen niedrig. Das Modell Forecast-Industry macht die Investitionsentscheidung von der Amortisationszeit der Maßnahmen abhängig. Geringe Änderungen in der Amortisationszeit haben auch nur geringe Auswirkungen auf die Investitionsquote. Folglich liegt die Wirkung des Emissionshandels daher weniger in absoluter Energieeinsparung als im Wechsel zu weniger CO<sub>2</sub>-intensiven Brennstoffen – zumindest bei Zertifikatspreisen im Bereich von 20 bis 30 Euro je Tonne CO<sub>2</sub>-äqu.

Mögliche Rückwirkungen des Zertifikatspreises auf Produktionsmengen werden nicht berücksichtigt.

Tab. 3-78: Zuordnung der energieintensiven Industrieprozesse und -Produkte zum Emissionshandel

|                               | 2008-2012 | post 2012 |   | 2008-2012 | post 2012 |
|-------------------------------|-----------|-----------|---|-----------|-----------|
| <b>Roheisen und Stahl</b>     |           |           | <b>Keramische Erzeugnisse durch Brennen</b> |           |           |
| Direkte Reduktion             | Ja        | Ja        | Feuerfestkeramik                            | Ja        | Ja        |
| Elektrostahl - EAF            | Ja        | Ja        | Fliesen, Platten, Andere                    | Ja        | Ja        |
| Oxygenstahl - Hochofen        | Ja        | Ja        | Haushaltswaren                              | Ja        | Ja        |
| Schmelzreduktion              | Ja        | Ja        | Sanitärkeramik                              | Ja        | Ja        |
| Walzstahl                     | Nein      | Ja        | Technische Keramik                          | Ja        | Ja        |
| <b>Zementklinker und Kalk</b> |           |           | <b>Glas einschließlich Glasfasern</b>       |           |           |
| Gips                          | Ja        | Ja        | Behälterglas                                | Ja        | Ja        |
| Kalkbrennen                   | Ja        | Ja        | Flachglas                                   | Ja        | Ja        |
| Klinker Brennen (halbtrocken) | Ja        | Ja        | Glasfasern                                  | Ja        | Ja        |
| Klinker Brennen (trocken)     | Ja        | Ja        | Übriges Glas                                | Ja        | Ja        |
| Ziegel                        | Ja        | Ja        | <b>Zellstoff, Papier und Pappe</b>          |           |           |
| <b>Nichteisenmetalle</b>      |           |           | Altpapierstoff                              | Ja        | Ja        |
| Aluminium Gießereien          | Nein      | Ja        | Holzstoff - Verfahren                       | Ja        | Ja        |
| Aluminium Walzen              | Nein      | Ja        | Papier                                      | Ja        | Ja        |
| Aluminium primär              | Nein      | Ja        | Zellstoff - Verfahren                       | Ja        | Ja        |
| Aluminium sekundär            | Nein      | Ja        | <b>Chemische Produkte</b>                   |           |           |
| Aluminium Strangpressen       | Nein      | Ja        | Adipinsäure                                 | Nein      | Ja        |
| Kupfer primär                 | Nein      | Ja        | Ammoniak                                    | Nein      | Ja        |
| Kupfer sekundär               | Nein      | Ja        | Ethylen                                     | Ja        | Ja        |
| Kupferbearbeitung             | Nein      | Ja        | Industrieruß                                | Ja        | Ja        |
| Primärzink                    | Nein      | Ja        | Methanol                                    | Nein      | Ja        |
| Sekundärzink                  | Nein      | Ja        | Polycarbonat                                | Nein      | Ja        |
| <b>Andere</b>                 |           |           | Polyethylen                                 | Nein      | Ja        |
| Zucker                        | Ja        | Ja        | Polypropylen                                | Nein      | Ja        |
|                               |           |           | Salpetersäure                               | Nein      | Ja        |
|                               |           |           | Soda  | Nein      | Ja        |

Quelle: Fraunhofer ISI

Tab. 3-79: Beispielhafte Darstellung der Auswirkungen der THG-Zertifikate auf die Preise von Energieträgern in der Industrie

| Energieträger  | Emissiosfaktor        | Preis THG-Zertifikate | Preis Zertifikate bezogen auf Energiegehalt | Preis Energieträger | Preis Energieträger inkl. Zertifikate | Aufpreis durch Zertifikate |
|----------------|-----------------------|-----------------------|---|---------------------|---------------------------------------|----------------------------|
|                | t CO <sub>2</sub> /GJ | Euro/tCO <sub>2</sub> | Euro/GJ                                     | Euro/GJ             | Euro/GJ                               | %                          |
| Heizöl, leicht | 0,074                 | 20                    | 1   | 19,45               | 20,93                                 | 8%                         |
| Steinkohle     | 0,094                 | 20                    | 2   | 3,76                | 5,64                                  | 50%                        |
| Koks           | 0,108                 | 20                    | 2   | 10,55               | 12,71                                 | 20%                        |
| Braunkohle     | 0,112                 | 20                    | 2   | 3,76                | 6,00                                  | 60%                        |
| Erdgas         | 0,056                 | 20                    | 1   | 13,23               | 14,35                                 | 8%                         |
| Petrolkoks     | 0,101                 | 20                    | 2   | 10,55               | 12,57                                 | 19%                        |
| Heizöl, schwer | 0,078                 | 20                    | 2   | 11,91               | 13,47                                 | 13%                        |
| Kokereigas*    | 0,060                 | 20                    | 1   | 13,23               | 14,43                                 | 9%                         |
| Gichtgas       | 0,139                 | 20                    | 3   | 9,26                | 12,04                                 | 30%                        |
| Müll           | 0,046                 | 20                    | 1   | 1,88                | 2,80                                  | 49%                        |
| Biomasse       | 0,000                 | 20                    | 0   | 4,51                | 4,51                                  | 0%                         |

\*Kokereigas inkl. Stadtgas, LPG, Raffineriegas

Quelle: Fraunhofer ISI

- b) Die Modellierung des Anfang 2008 gestarteten „Sonderfonds Energieeffizienz in KMU“ baut vorwiegend auf der im Jahr 2010 veröffentlichten Evaluierung auf (IREES, Fraunhofer ISI 2010).

Da nur für das Jahr 2009 ein vollständiger Datensatz zur Anzahl der Beratungen und den Energieeinsparungen verfügbar ist, beruht die Projektion auf den Kennwerten dieses Jahres. Die mittlere Anzahl von knapp 400 Beratungen je Monat hat sich auch in der ersten Jahreshälfte von 2010 kaum verändert. Im Jahr 2009 haben insgesamt 4200 Firmen eine Energieberatung in Anspruch genommen. Laut Evaluierung führten diese zu insgesamt etwa 200 GWh Strom- und 650 GWh jährlicher Brennstoffeinsparung. 40 % der als Folge der Energieberatung durchgeführten Effizienzmaßnahmen sind den Bereichen Heizung und Gebäudedämmung zuzuordnen und werden damit im Kapitel „GHD-Raumwärme und Warmwasser“ bilanziert und hier von der Wirkung des Sonderfonds abgezogen. Für den Projektionszeitraum wird angenommen, dass sowohl die Anzahl der durchgeführten Beratungen als auch ihre Intensität auf dem Niveau von 2009 fortgeführt werden.

Ein weiteres Kriterium, das langfristig die Wirkung des Fonds eingrenzt, ist die Beschränkung auf kleine und mittlere Unternehmen (KMU). Laut einer aktuellen Auswertung des Statistischen Bundesamtes (Kless, Veldues 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.

Die zweite Säule des Sonderfonds, die bereitgestellten Darlehen für die Umsetzung von Effizienzmaßnahmen wird nicht explizit berücksichtigt, da hierzu kaum empirische Erkenntnisse vorhanden sind. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Wirkung von Investitionshilfen zum Teil bereits in den oben erwähnten 200 bzw. 650 GWh jährlicher Einsparungen enthalten ist.

- c) Die „*Beschaffung energieeffizienter Produkte im Bereich des Bundes*“ wurde anhand von Produkten im Bereich Informations- und Kommunikationstechnik (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; Schломann 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. Sicherlich ist davon auszugehen, dass sich die Beschaffung auch auf weitere Bereiche ausdehnen wird, jedoch ist auch hier der Anteil des Bundes am gesamten Konsum einzelner Produktgruppen niedrig und die direkte Wirkung der Maßnahme gering. Deutlich größer könnte die Wirkung sein, wenn davon ausgegangen wird, dass Hocheffiziente Geräte beschafft werden, die sich noch in der Phase der Markteinführung befinden. Dieser Effekt wird in der Modellierung der Maßnahme jedoch nicht berücksichtigt.
- d) Die Einführung von *Mindeststandards im Rahmen der EU-Ökodesign Richtlinie* fördert ausschließlich produktbezogene Effizienzverbesserungen und lässt 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 Belastbarkeit modellieren, da kaum Annahmen zum Verhalten der Akteure getroffen werden müssen. Es wird für die Berechnung davon ausgegangen, dass die Standards befolgt werden. Die Standards werden auf Ebene der einzelnen Produktgruppen modelliert.

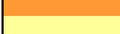
Wenngleich die Datenverfügbarkeit zu den einzelnen Produktgruppen – falls eine Vorstudie vorhanden ist – eher gut ist, kann aufgrund der großen Anzahl an Produktgruppen nur eine selektive Modellierung erfolgen. Tab. 3-80 zeigt den Energieverbrauch der Produktgruppen als Anteil des Strom bzw. Brennstoffbedarfs in GHD, Industrie und Haushalten. Auch wenn bei einigen Produktgruppen keine klare Aufteilung möglich ist und der Energieverbrauch nur ein Indikator für die vorhandenen Einsparpotenziale ist, so zeigt sich doch, dass je Sektor unterschiedliche Produktgruppen relevant sind. Für die Modellierung wird der Schwerpunkt daher auf Produktgruppen gelegt, deren Anteil am Strom- bzw. Brennstoffbedarf des Sektors 5 % überschreitet. Übrige Produktgruppen werden als „Bündel“ anhand von mittleren Einsparungen der modellierten Produktgruppen modelliert.

Die Annahmen zu Einsparpotenzialen und Verbreitung der Maßnahmen basieren dabei auf den Durchführungsmaßnahmen für alle Produktgruppen, für die in der Spalte Verordnung in Tab. 3-80 ein Datum angegeben ist. Für alle Produktgruppen, zu denen noch keine Verordnung erlassen wurde, jedoch eine Vorstudie abgeschlossen ist, wird das dort angegebene Einsparpotenzial mit den geringsten Lebenszykluskosten zugrunde gelegt. Für die verbleibenden Maßnahmen ohne abgeschlossene Vorstudie wird das Einsparpotenzial geschätzt.

Einschränkungen ergeben sich daher aus der Übertragbarkeit von Annahmen basierend auf EU-Mittelwerten auf die Situation in Deutschland sowie der Tatsache, dass einige Vorstudien noch nicht abgeschlossen sind. Gerade für viele der in der Industrie relevanten Produktgruppen ist die Vorstudie noch in Arbeit und gleichzeitig die Verfügbarkeit alternativer Datenquellen schlecht (z. B. Werkzeugmaschinen und Feuerungsanlagen).

**Tab. 3-80: Übersicht der Ökodesign Produktgruppen und der von ihnen adressierte Strom- bzw. Brennstoffbedarf in Industrie, GHD und Haushalten (Stand 20.1.2012)**

| Produktgruppe  | Vorstudie abgeschlossen | Verordnung (verbindlich ab) | Zuordnung |     |           |
|--|-------------------------|-----------------------------|-----------|-----|-----------|
|  |                         |                             | Industrie | GHD | Haushalte |
| Los- Einfache Set Top Boxen                              | ja                      | 25.1.2010                   |           |     |           |
| Los 1 Boiler und Kombiboiler                             | ja                      |                             |           |     |           |
| Los 2 Warmwasserbereiter                                 | ja                      |                             |           |     |           |
| Los 3 PC (Desktops and Laptops) und Computermonitore     | ja                      |                             |           |     |           |
| Los 4 Bildgebende Geräte                                 | ja                      |                             |           |     |           |
| Los 5 Konsumelektronik: Fernseher                        | ja                      | 7.1.2010                    |           |     |           |
| Los 6 Standby und Schein-aus- (off-mode) Verluste        | ja                      | 7.1.2010                    |           |     |           |
| Los 7 Externe Stromversorgungseinheiten                  | ja                      | 27.4.2010                   |           |     |           |
| Los 8 Bürobeleuchtung                                    | ja                      | 13.4.2010                   |           |     |           |
| Los 9 Straßenbeleuchtung                                 | ja                      | 13.4.2010                   |           |     |           |
| Los 10 Klimageräte                                       | ja                      | 1.1.2013                    |           |     |           |
| Los 10 Kleinventilatoren                                 | ja                      |                             |           |     |           |
| Los 10 Lüftungen   | ja                      |                             |           |     |           |
| Los 11 Elektromotoren (0,75kW - 200kW)                   | ja                      | 16.6.2011                   |           |     |           |
| Los 11 Umwälzpumpen                                      | ja                      | 1.1.2013                    |           |     |           |
| Los 11 Ventilatoren                                      | ja                      | 1.1.2013                    |           |     |           |
| Los 11 Wasserpumpen                                      | ja                      |                             |           |     |           |
| Los 12 Gewerbliche Kühl- u. Tiefkühlgeräte               | ja                      | 1.7.2010                    |           |     |           |
| Los 13 Haushaltskühl- und Gefriergeräte                  | ja                      |                             |           |     |           |
| Los 14 Haushaltsgeschirrspülmaschinen                    | ja                      |                             | 1.12.2011 |     |           |
| Los 14 Haushaltswaschmaschinen                           | ja                      |                             | 1.12.2011 |     |           |
| Los 15 Kleine Anlagen zur Verbrennung fester Brennstoffe | nein                    | 1.9.2009                    |           |     |           |
| Los 16 Wäschetrockner                                    | ja                      |                             |           |     |           |
| Los 17 Staubsauger                                       | ja                      |                             |           |     |           |
| Los 18 Komplexe Settop boxen                             | ja                      |                             |           |     |           |
| Los 19 Haushaltsbel. "nicht gerichtet"                   | ja                      |                             |           |     |           |
| Los 19 Haushaltsbel. "Reflektorlampen"                   | ja                      |                             |           |     |           |
| Los 20 Lokale Raumheizprodukte                           | nein                    |                             |           |     |           |
| Los 21 Zentralheizungsprodukte                           | nein                    |                             |           |     |           |
| Los 22 Haushalts- und gewerbliche Öfen                   | nein                    |                             |           |     |           |
| Los 23 Kochfelder und Grills                             | nein                    |                             |           |     |           |
| Los 24 Waschmaschinen, Trockner gewerblich               | ja                      |                             |           |     |           |
| Los 25 Kaffeemaschinen für nicht gewerbliche Zwecke      | ja                      |                             |           |     |           |
| Los 26 Vernetzte Standby-Verluste                        | ja                      |                             |           |     |           |
| ENTR Bildgebende Geräte in der Medizin                   | nein                    |                             |           |     |           |
| ENTR Los 1 Kühl- und Gefriergeräte                       | ja                      |                             |           |     |           |
| ENTR Los 2 Transformatoren                               | ja                      |                             |           |     |           |
| ENTR Los 3 Geräte zur Ton- und Bildverarbeitung          | ja                      |                             |           |     |           |
| ENTR Los 4 Feuerungsanlagen u. Öfen                      | nein                    |                             |           |     |           |
| ENTR Los 5 Werkzeugmaschinen                             | nein                    |                             |           |     |           |
| ENTR Los 6 Klima- und Lüftungsanlagen > 12kW             | nein                    |                             |           |     |           |

| Relevanz                      |   |
|-------------------------------|---|
| Hoch (>10%)                   |  |
| Mittel (5-10%)                |  |
| Niedrig (1-5%)                |  |
| Nicht relevant (<1%)          |  |
| Per Definition ausgeschlossen |  |
| Keine Daten                   |  |

Quelle: Fraunhofer ISI

## Energiewende-Szenario

Für die spezifische Modellierung der verschiedenen Maßnahmen im Energiewende-Szenario werden die folgenden Annahmen zugrunde gelegt:

- Entsprechend der Definition in obiger Maßnahmenbeschreibung werden für die Modellierung *ambitionierterer Mindeststandards (auf Basis von BVT)* alle Produktgruppen, für die laut Tab. 3-80 bereits Vorstudien durchgeführt oder Verordnungen erlassen sind, auf Basis der Besten Verfügbaren Technik berechnet.
- Für die Modellierung der Anpassung des Stromsteuer- und des Energiesteuergesetzes wird wie folgt vorgegangen. Unternehmen des produzierenden Gewerbes sowie der Land- und Forstwirtschaft werden Vergünstigungen der Energiesteuer und der Stromsteuer zugesprochen. Ein Element dieser Vergünstigungen ist der sogenannte Spitzenausgleich. Der Spitzenausgleich kann von allen Unternehmen des produzierenden Gewerbes beantragt werden, deren Verbände an der Klimaschutzvereinbarung teilnehmen. Die Stromsteuer beträgt seit dem 1. Januar 2011 20,5 €/MWh. Nach § 10 des StromStG können Unternehmen des produzierenden Gewerbes, deren Stromsteuer 1000 Euro übersteigt, eine 90-prozentige Ermäßigung des Steuersatzes beantragen, den sogenannte Spitzenausgleich (sofern die Belastung der Unternehmen durch die Steuer die Entlastung durch die geminderten Beiträge zur Rentenversicherung übersteigt). Weiterhin werden nach § 9a einzelne Prozesse vollständig von der Strom- und Energiesteuer ausgenommen (siehe Tab. 3-81). Diese Ausnahmen behalten auch im EWS ihre Gültigkeit.

Tab. 3-81: Von der Strom- bzw. Energiesteuer entlastete Produktionsprozesse

| Prozess  | Stromsteuer | Energiesteuer |
|--|-------------|---------------|
| <b>Thermische Abfall- oder Abluftbehandlung</b>                  |             | x             |
| <b>Elektrolyse</b>   | x           |               |
| <b>Herstellung von:</b>  |             |               |
| Glas und Glaswaren   | x           | x             |
| Keramischen Erzeugnissen   | x           | x             |
| Keramischen Wand- und Bodenfliesen und -platten                  | x           | x             |
| Ziegeln und  | x           | x             |
| Sonstiger Baukeramik   | x           | x             |
| Zement   | x           | x             |
| Kalk   | x           | x             |
| Gebranntem Gips  | x           | x             |
| Erzeugnissen aus Beton, Zement und Gips                          | x           | x             |
| Keramisch gebundenen Schleifkörpern                              | x           | x             |
| Mineralischen Isoliermaterialien                                 | x           | x             |
| Asphalt  | x           | x             |
| Waren aus Graphit oder anderen Kohlenstoffen                     | x           | x             |
| Erzeugnissen aus Porenbeton-erzeugnissen                         | x           | x             |
| Mineralischen Düngemitteln                                       | x           | x             |
| <b>Prozesse der vorgenannten Erzeugnisse und Vorprodukte</b>     |             |               |
| Trocknen   | x           | x             |
| Brennen  | x           | x             |
| Schmelzen  | x           | x             |
| Erwärmen   | x           | x             |
| Warmhalten   | x           | x             |
| Entspannen   | x           | x             |
| Tempern oder   | x           | x             |
| Sintern  | x           | x             |
| <b>Metallerzeugung und -bearbeitung</b>                          | x           | x             |
| <b>Im Rahmen der Herstellung von Metallerzeugnissen für die:</b> |             |               |
| Herstellung von Schmiede-Press-Zieh- und Stanzteilen             | x           | x             |
| Gewalzten Ringen und   | x           | x             |
| Pulvermetallurgischen Erzeugnissen                               | x           | x             |
| Oberflächenveredlung und Wärmebehandlung                         | x           | x             |
| <b>chemische Reduktionsverfahren</b>                             | x           | x             |

Quelle: Fraunhofer ISI

Zurzeit sind die Steuervergünstigungen im Rahmen des Spitzenausgleichs abhängig vom Energiebedarf, den Beiträgen zur Rentenversicherung sowie der Klimaschutzvereinbarung der Branchenverbände, in welcher sich die einzelnen Branchen CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele bis 2012 gesetzt haben. Die Steuervergünstigungen werden nur gewährt, wenn entsprechende Bedingungen erfüllt und Ziele erreicht werden. Die Bundesregierung beabsichtigt jedoch die Ermäßigungen ab 2013 an Gegenleistungen wie die Einführung von Energiemanagementsystemen zu knüpfen. Das Gesetz sieht zudem eine

„Effizienzvereinbarung“ zwischen Bundesregierung und Industrie vor, nach der sich das Produzierende Gewerbe verpflichtet, die Energieintensität jährlich um 1,3 % und ab 206 um 1,35 % zu reduzieren. (Gesetzesentwurf vom 1.8.2012 zur Änderung des Energiesteuer- und des Stromsteuergesetzes). Mit Hilfe von Energiemanagementsystemen nach den Normen DIN EN 16001 und DIN EN ISO 50001 können beispielsweise Einsparpotenziale aufgezeigt werden, welche aufgrund der oftmals sehr kurzen Amortisationszeit der Maßnahmen auch zu Wettbewerbsvorteilen führen können.

Für die Modellierung wird angenommen, dass das verbindliche Effizienzziel für das Produzierende Gewerbe erreicht wird. Der Änderungsentwurf der Gesetzesentwurf vom 1.8.2012 sieht eine jährliche Effizienzsteigerung von 1,3 % und ab 2016 um 1,35% vor. Da der Entwurf zum Zeitpunkt der Modellierung noch nicht bekannt war, wurde mit einem jährlichen Effizienzziel von 1,5% für Brennstoffe und von 2% für Strom gerechnet. Die Wirkung dieses Instruments wird daher vermutlich niedriger ausfallen als berechnet. Eine weitere Einschränkung in der Modellierung ist die Tatsache, dass die Modellierung auf Mittelwerten basiert, der Spitzenausgleich jedoch unternehmensabhängig ist und ungleichmäßig über die Unternehmen verteilt.

- Der Ausbau von Förderprogrammen für KMU wird anhand einer Verstärkung der Energieberatung des Sonderfonds Energieeffizienz und einer Ausweitung der Energieeffizienznetzwerke quantifiziert.

In Energieeffizienznetzwerken schließen sich Unternehmen zusammen, die sich gemeinsame CO<sub>2</sub>-Minderungsziele setzen und voneinander lernen. Für Deutschland wurde ein Potenzial von insgesamt 700 Effizienznetzwerken ermittelt (Fraunhofer ISI et al. 2008, S. 180). Für die Berechnungen wurde angenommen, dass bis 2020 ca. 300 Effizienznetzwerke eingerichtet werden. Aus bisherigen Erfahrungen geht hervor, dass die vorgeschlagen und durchgeführten Effizienzmaßnahmen vorwiegend im Bereich der Querschnittstechniken angesiedelt sind (Jochem, Gruber 2007). Dies wurde auch in den Projektionen so berücksichtigt.

Eine aktuelle Evaluierung (IREES, Fraunhofer ISI 2010) des Sonderfonds Energieeffizienz hat gezeigt, dass über die derzeitigen etwa 400 Energieberatungen je Monat noch deutliche Steigerungspotenziale bestehen. Daher wird für das EWS angenommen, dass die Anzahl der monatlichen Beratungen relativ kurzfristig auf 1000 steigt und auf diesem Niveau verbleibt. Es ist davon auszugehen, dass selbst darüber hinaus noch weitere Potenziale für Energieberatungen vorhanden sind, wie eine Marktstudie zeigt (Gruber et al. 2006).

Im Folgenden werden beide Förderprogramme für KMU, die Effizienznetzwerke und die Energieberatung, getrennt ausgewiesen.

- 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 Gebäude machen laut Odyssee-Datenbank ca. 40 % der

Gebäudefläche des tertiären Sektors aus<sup>25</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.

Großen Einfluss auf die Wirkung der Maßnahmen haben die zu den einzelnen Techniken im Modell hinterlegten Annahmen. Diese basieren auf Literaturlauswertungen und Expertenschätzungen. Im folgenden Überblick wird auf die wichtigsten Kennwerte eingegangen.

**Szenario-übergreifende Annahmen**

Für die Industrie sind die Anteile der Querschnittstechniken an den einzelnen Wirtschaftszweigen eine wichtige Größe. Insgesamt machen Elektromotoren über 60 % des Stromverbrauchs der Industrie aus. Beleuchtung spielt mit gut 5 % eine eher untergeordnete Rolle.

Tab. 3-82: Anteile der Querschnittstechniken am Stromverbrauch der Wirtschaftszweige der Industrie im Jahr 2008 [%]

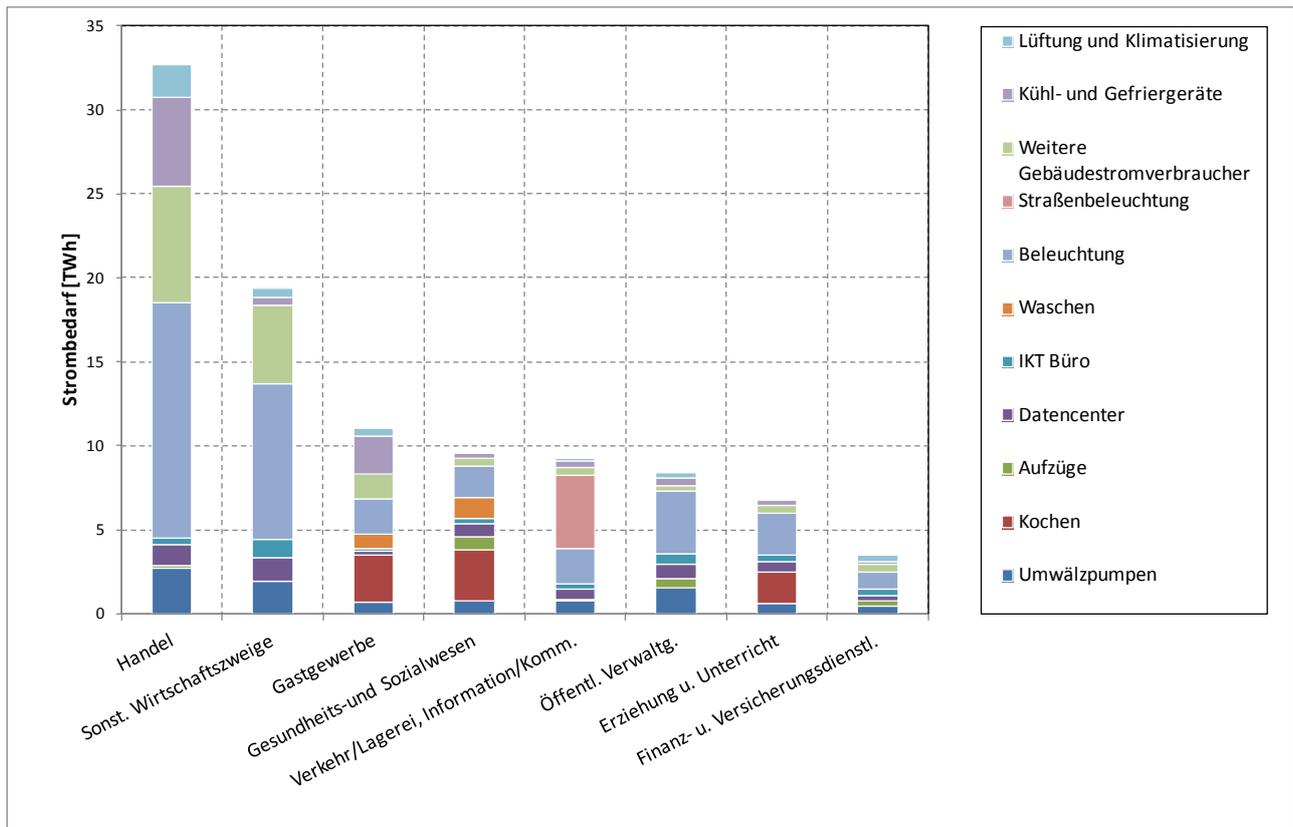
| Wirtschaftszweig                                | Ventilatoren | Druckluft | Kälte | Pumpen | Übrige Motoren | Beleuchtung | Summe |
|---|--------------|-----------|-------|--------|----------------|-------------|-------|
| Gewinnung von Steinen und Erden, sonst. Bergbau | 10           | 6         | 2     | 30     | 49             | 2           | 100   |
| Ernährung und Tabak                             | 11           | 9         | 34    | 10     | 6              | 7           | 76    |
| Papiergewerbe                                   | 18           | 8         | 4     | 23     | 45             | 1           | 99    |
| Grundstoffchemie                                | 11           | 2         | 5     | 22     | 30             | 1           | 70    |
| Sonstige chemische Industrie                    | 11           | 2         | 12    | 26     | 40             | 3           | 93    |
| Gummi- u. Kunststoffwaren                       | 5            | 15        | 8     | 9      | 48             | 5           | 91    |
| Glas u. Keramik                                 | 10           | 17        | 4     | 4      | 59             | 4           | 97    |
| Verarbeitung v. Steine u. Erden                 | 10           | 17        | 3     | 4      | 62             | 3           | 98    |
| Metallerzeugung                                 | 12           | 3         | 1     | 5      | 44             | 1           | 65    |
| NE-Metalle, -gießereien                         | 10           | 3         | 1     | 7      | 24             | 1           | 45    |
| Metallbearbeitung                               | 9            | 5         | 9     | 7      | 43             | 9           | 83    |
| Maschinenbau                                    | 16           | 15        | 11    | 1      | 12             | 16          | 71    |
| Fahrzeugbau                                     | 10           | 12        | 7     | 4      | 39             | 10          | 81    |
| Sonstige Wirtschaftszweige                      | 12           | 14        | 8     | 12     | 19             | 12          | 76    |
| Gesamte Industrie                               | 11           | 8         | 8     | 12     | 33             | 5           | 77    |

Quelle: eigene Berechnungen basierend auf Prognos, TU München, Fraunhofer ISI (2011)

Für den Sektor GHD ist die Größe der Anteile der einzelnen Energieanwendungen nach Wirtschaftszweigen in Abb. 3-8 und Tab. 3-83 dargestellt.

<sup>25</sup> <http://www.odyssee-indicators.org/>

Abb. 3-8: Strombedarf im Sektor GHD nach Wirtschaftszweig und Energieanwendungen für das Jahr 2008



Quelle: Fraunhofer ISI

Tab. 3-83: Anteile der Energieanwendungen am Stromverbrauch der Wirtschaftszweige des Sektors GHD im Jahr 2008

|  | WZ 2008   | Umwälzpumpen | Kochen | Aufzüge | Datacenter | IKT Büro | Waschen | Beleuchtung | Straßenbeleuchtung | Weitere Gebäudestromverbraucher | Kühl- und Gefriergeräte | Lüftung und Klimatisierung | Summe |
|--|-----------|--------------|--------|---------|------------|----------|---------|-------------|--------------------|---------------------------------|-------------------------|----------------------------|-------|
|  |           | %            |        |         |            |          |         |             |                    |                                 |                         |                            |       |
| Erziehung und Unterricht                                 | P         | 8,6          | 28,1   | 0,0     | 8,3        | 5,7      | 0,0     | 37,3        | 0,0                | 6,6                             | 4,7                     | 0,7                        | 100   |
| Erbringung von Finanz- und Versicherungsdienstleistungen | K         | 13,4         | 0,0    | 7,4     | 10,8       | 9,1      | 0,0     | 29,7        | 0,0                | 12,4                            | 6,1                     | 11,2                       | 100   |
| Gesundheits- und Sozialwesen                             | Q         | 8,0          | 31,4   | 8,4     | 7,8        | 3,3      | 12,6    | 19,5        | 0,0                | 5,3                             | 2,9                     | 0,8                        | 100   |
| Gastgewerbe  | I         | 6,1          | 25,2   | 0,0     | 2,7        | 1,0      | 8,2     | 18,7        | 0,0                | 13,4                            | 20,7                    | 4,1                        | 100   |
| Sonstige Wirtschaftszweige                               | L,M,N,R,S | 9,9          | 0,0    | 0,0     | 7,2        | 5,5      | 0,0     | 48,1        | 0,0                | 23,9                            | 2,6                     | 2,8                        | 100   |
| Öffentliche Verwaltung, Verteidigung; Sozialversicherung | O         | 18,1         | 0,0    | 7,1     | 10,2       | 7,3      | 0,0     | 44,5        | 0,0                | 3,9                             | 5,8                     | 3,2                        | 100   |
| Verkehr und Lagerei, Information und Kommunikation       | H, J      | 8,2          | 0,0    | 0,4     | 6,8        | 3,4      | 0,0     | 23,2        | 46,7               | 5,0                             | 4,7                     | 1,6                        | 100   |
| Handel; Instandhaltung und Reparatur von Fahrzeugen      | G         | 8,2          | 0,0    | 0,5     | 3,9        | 1,2      | 0,0     | 42,7        | 0,0                | 21,2                            | 16,2                    | 6,2                        | 100   |
| Alle Wirtschaftszweige                                   |           | 9,3          | 7,7    | 1,8     | 6,1        | 3,5      | 2,1     | 36,4        | 4,3                | 15,1                            | 9,8                     | 3,9                        | 100   |

Quelle: Fraunhofer ISI

### 3.5.5 Ergebnisse der Projektionen

Tab. 3-84 zeigt den resultierenden Strom- und Energiebedarf je Szenario und Sektor. Für die Industrie zeigt sich bereits im Szenario APS ein leicht fallender Strom- sowie Brennstoffbedarf. Dieser ist zum einen auf Energieeffizienzfortschritte zurück zu führen, jedoch zum anderen auch auf das relativ niedrige Wirtschaftswachstum, gerade in den energieintensiven Wirtschaftszweigen. Im EWS fällt der Energieverbrauch etwas stärker, jedoch nicht sehr. Auch im Sektor GHD weisen beide Szenarien einen fallenden Strom- und Brennstoffbedarf auf. Die wichtigste Aktivitätsgröße, die Anzahl der Beschäftigten je Branche, hat hier einen großen Einfluss und da sie bis 2030 nur um etwa 3 % steigt, verläuft auch der Energieverbrauch eher flach – selbst in dem theoretischen Fall ohne Effizienzsteigerungen. Kommen letztere hinzu, so resultieren sie in einem fallenden Energieverbrauch entsprechend der beiden Szenarien.

Tab. 3-84: Strom- und Brennstoffbedarf in den Sektoren Industrie und GHD nach Szenario

|                        | 1990                      | 1995  | 2000  | 2005  | 2008  | 2015  | 2020  | 2025  | 2030  |
|------------------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                        | Energieverbrauch PJ / TWh |       |       |       |       |       |       |       |       |
| <b>Industrie - APS</b> |                           |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Brennstoffe [PJ]       | 1.730                     | 1.607 | 1.567 | 1.504 | 1.634 | 1.592 | 1.573 | 1.549 | 1.511 |
| Strom [TWh]            | 208                       | 190   | 208   | 234   | 233   | 219   | 217   | 215   | 213   |
| <b>Industrie - EWS</b> |                           |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Brennstoffe [PJ]       | 1.730                     | 1.607 | 1.567 | 1.504 | 1.634 | 1.582 | 1.538 | 1.498 | 1.450 |
| Strom [TWh]            | 208                       | 190   | 208   | 234   | 233   | 212   | 207   | 202   | 198   |
| <b>GHD - APS</b>       |                           |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Brennstoffe [PJ]       | 466                       | 220   | 142   | 173   | 174   | 167   | 157   | 145   | 133   |
| Strom [TWh]            | 116                       | 124   | 140   | 131   | 124   | 129   | 124   | 117   | 111   |
| <b>GHD - EWS</b>       |                           |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Brennstoffe [PJ]       | 466                       | 220   | 142   | 173   | 174   | 164   | 150   | 133   | 115   |
| Strom [TWh]            | 116                       | 124   | 140   | 131   | 124   | 128   | 121   | 111   | 101   |

Quelle: Fraunhofer ISI

Bevor die Ergebnisse auf Ebene der einzelnen modellierten Instrumente diskutiert werden, ist im Folgenden zunächst für beide Szenarien die Entwicklung von Energieintensität und Energieverbrauch nach Wirtschaftszweigen und Energiedienstleistungen dargestellt.

**Aktuelle-Politik-Szenario**

**Tab. 3-85: Energieintensivität in der Industrie nach Sektoren im APS**

| Wirtschaftszweig                 | 2008         | 2020  | 2030  | 2008               | 2020  | 2030  |
|----------------------------------|--------------|-------|-------|--------------------|-------|-------|
|                                  | Strom [MJ/€] |       |       | Brennstoffe [MJ/€] |       |       |
| Gewinnung von Steinen und Erden. |              |       |       |                    |       |       |
| sonst. Bergbau                   | 3,32         | 3,12  | 3,10  | 5,58               | 5,92  | 6,08  |
| Ernährung und Tabak              | 2,21         | 2,18  | 2,09  | 4,57               | 4,86  | 4,63  |
| Papiergewerbe                    | 7,23         | 6,79  | 6,45  | 14,65              | 14,26 | 13,71 |
| Grundstoffchemie                 | 6,00         | 5,57  | 5,49  | 8,51               | 8,74  | 9,71  |
| Sonstige chemische Industrie     | 1,00         | 0,91  | 0,87  | 2,36               | 2,23  | 2,04  |
| Glas u. Keramik                  | 3,00         | 2,83  | 2,92  | 12,01              | 11,79 | 12,09 |
| Verarbeitung v. Steine u. Erden  | 2,85         | 2,89  | 2,68  | 17,03              | 18,51 | 16,73 |
| Metallerzeugung                  | 13,75        | 13,63 | 14,70 | 79,19              | 73,03 | 72,34 |
| NE-Metalle. -gießereien          | 10,84        | 9,71  | 9,19  | 8,16               | 7,86  | 7,96  |
| Metallbearbeitung                | 1,15         | 1,07  | 1,04  | 1,30               | 1,28  | 1,25  |
| Maschinenbau                     | 0,58         | 0,53  | 0,52  | 0,61               | 0,59  | 0,58  |
| Fahrzeugbau                      | 0,88         | 0,81  | 0,79  | 0,75               | 0,73  | 0,72  |
| Gummi- u. Kunststoffwaren        | 1,98         | 1,89  | 1,72  | 1,26               | 1,26  | 1,16  |
| Sonstige Wirtschaftszweige       | 0,60         | 0,55  | 0,53  | 0,72               | 0,69  | 0,66  |

Quelle: Fraunhofer ISI

**Tab. 3-86: Energiebedarf in der Industrie nach Energieträgern im APS**

| Energieträger                            | 2008         | 2015         | 2020         | 2025         | 2030         | 2030 /2008 |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|
|  | PJ           |              |              |              |              |            |
| Steinkohle                               | 158          | 123          | 119          | 114          | 108          | -32%       |
| Braunkohle                               | 55           | 26           | 15           | 9            | 5            | -91%       |
| Koks                                     | 137          | 108          | 108          | 106          | 104          | -24%       |
| Heizöl, schwer                           | 54           | 48           | 45           | 41           | 37           | -32%       |
| Heizöl, leicht                           | 69           | 77           | 74           | 71           | 67           | -3%        |
| Petrolkoks                               | 19           | 17           | 17           | 16           | 15           | -20%       |
| Erdgas                                   | 574          | 701          | 692          | 662          | 654          | 14%        |
| Gichtgas                                 | 92           | 71           | 74           | 76           | 76           | -18%       |
| Kokereigas, Stadtgas, LPG, Raffineriegas | 46           | 37           | 36           | 35           | 33           | -29%       |
| Fernwärme und Industrie-KWK              | 380          | 304          | 296          | 299          | 267          | -30%       |
| Müll                                     | 29           | 46           | 58           | 73           | 91           | 217%       |
| Erneuerbare Energieträger                | 20           | 33           | 40           | 47           | 55           | 175%       |
| Strom                                    | 837          | 787          | 783          | 774          | 768          | -8%        |
| Summe                                    | <b>2.471</b> | <b>2.379</b> | <b>2.356</b> | <b>2.323</b> | <b>2.280</b> | <b>-8%</b> |

Quelle: Fraunhofer ISI

Die Veränderung des Strombedarfs im Sektor GHD nach Anwendung weist hohe Dynamiken und sehr unterschiedliche Entwicklungen auf. Während der Strombedarf durch Beleuchtung im Zeitraum von 2008 bis 2030 um 43 % fällt, steigt er im Bereich von Lüftung und Klimatisierung um 48 %. Der Rückgang bei der Beleuchtung ist auf die hohen technischen Einsparpotenziale und das geringe Wachstum zurück zu führen. Die Klimatisierung weist ein genau entgegen gesetztes Muster auf: hohe Wachstumspotenziale und bisher kaum effektive Effizienzstandards.

Tab. 3-87: Entwicklung des absoluten Strombedarfs in GHD je Wirtschaftszweig im APS

| Wirtschaftszweig   | 2008  | 2020  | 2030  | Δ 2008 - 2030 |
|--|-------|-------|-------|---------------|
|  | PJ    |       |       | %             |
| Handel; Instandhaltung und Reparatur von Fahrzeugen      | 117,9 | 106,7 | 77,5  | -34,2         |
| Sonstige Sektoren  | 69,8  | 75,5  | 69,4  | -0,5          |
| Gastgewerbe  | 39,7  | 37,1  | 33,8  | -14,6         |
| Gesundheits- und Sozialwesen                             | 34,8  | 37,9  | 34,5  | -0,7          |
| Verkehr und Lagerei, Information und Kommunikation       | 33,5  | 30,5  | 29,6  | -11,6         |
| Öffentliche Verwaltung, Verteidigung; Sozialversicherung | 30,2  | 25,1  | 21,1  | -29,9         |
| Erziehung und Unterricht                                 | 24,6  | 25,6  | 23,3  | -5,2          |
| Erbringung von Finanz- und Versicherungsdienstleistungen | 12,7  | 11,3  | 10,8  | -15,2         |
| Alle Wirtschaftszweige                                   | 363,0 | 349,7 | 300,2 | -17,3         |

Quelle: Fraunhofer ISI

Tab. 3-88: Entwicklung des absoluten Strombedarfs in GHD je Anwendungsgruppe im APS

| Anwendung                       | 2008  | 2020  | 2030  | Δ 2008 - 2030 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|---------------|
|                                 | PJ    |       |       | %             |
| Beleuchtung                     | 132,1 | 113,8 | 74,7  | -43,5         |
| Weitere Gebäudestromverbraucher | 54,8  | 65,0  | 60,7  | 10,8          |
| Kühl- und Gefriergeräte         | 35,4  | 32,6  | 28,3  | -20,0         |
| Umwälzpumpen                    | 33,8  | 31,6  | 28,6  | -15,5         |
| Kochen                          | 27,8  | 26,4  | 24,9  | -10,3         |
| Datencenter                     | 22,2  | 22,7  | 23,4  | 5,6           |
| Straßenbeleuchtung              | 15,7  | 15,1  | 15,4  | -1,6          |
| Lüftung und Klimatisierung      | 14,2  | 18,9  | 20,9  | 47,8          |
| IKT Büro                        | 12,8  | 9,8   | 10,2  | -20,3         |
| Waschen                         | 7,6   | 8,5   | 8,1   | 6,6           |
| Aufzüge                         | 6,8   | 5,5   | 4,9   | -27,6         |
| Alle Anwendungen                | 363,0 | 349,7 | 300,2 | -17,3         |

Quelle: Fraunhofer ISI

Tab. 3-89: Energiebedarf in GHD nach Energieträgern im APS

| Energieträger             | 2008           | 2015           | 2020           | 2025           | 2030           | 2030 /2008  |
|---------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------|
|                           | TJ             |                |                |                |                |             |
| Kohlen                    | 5.684          | 5.155          | 4.616          | 4.062          | 3.433          | -40%        |
| Heizöl leicht             | 33.424         | 30.861         | 28.059         | 25.180         | 21.868         | -35%        |
| Heizöl schwer             | 213            | 204            | 191            | 178            | 162            | -24%        |
| Benzin                    | 9.211          | 8.716          | 8.034          | 6.957          | 5.788          | -37%        |
| Diesel                    | 51.130         | 49.129         | 45.997         | 41.950         | 38.076         | -26%        |
| Flugtreibstoff            | 3.597          | 3.468          | 3.258          | 3.003          | 2.771          | -23%        |
| Erdgas                    | 31.811         | 30.482         | 28.558         | 26.584         | 24.218         | -24%        |
| LPG                       | 20.860         | 19.947         | 18.584         | 16.682         | 14.761         | -29%        |
| Feste Biomasse            | 17.653         | 18.136         | 17.857         | 17.471         | 16.728         | -5%         |
| Erneuerbare Energieträger | 132            | 280            | 462            | 757            | 1.216          | 821%        |
| Solarenergie              | 0              | 85             | 80             | 74             | 68             |             |
| Biokraftstoffe            | 0              | 491            | 922            | 2.194          | 3.919          |             |
| Strom                     | 447.137        | 465.389        | 447.331        | 419.622        | 398.132        | -11%        |
| <b>Summe</b>              | <b>620.853</b> | <b>632.344</b> | <b>603.949</b> | <b>564.717</b> | <b>531.141</b> | <b>-14%</b> |

Quelle: Fraunhofer ISI

### Energiewende-Szenario

Tab. 3-90: Energieintensivität in der Industrie nach Sektoren im EWS

| Wirtschaftszweig                                | 2008         | 2020  | 2030  | 2008               | 2020  | 2030  |
|---|--------------|-------|-------|--------------------|-------|-------|
|   | Strom [MJ/€] |       |       | Brennstoffe [MJ/€] |       |       |
| Gewinnung von Steinen und Erden, sonst. Bergbau | 3,32         | 2,96  | 2,89  | 5,58               | 5,92  | 6,08  |
| Ernährung und Tabak                             | 2,21         | 2,06  | 1,93  | 4,57               | 4,82  | 4,55  |
| Papiergewerbe                                   | 7,23         | 6,32  | 5,73  | 14,65              | 13,80 | 12,96 |
| Grundstoffchemie                                | 6,00         | 5,30  | 5,12  | 8,51               | 8,36  | 9,23  |
| Sonstige chemische Industrie                    | 1,00         | 0,86  | 0,82  | 2,36               | 2,23  | 2,04  |
| Glas u. Keramik                                 | 3,00         | 2,69  | 2,72  | 12,01              | 11,45 | 11,41 |
| Verarbeitung v. Steine u. Erden                 | 2,85         | 2,74  | 2,48  | 17,03              | 17,98 | 16,06 |
| Metallerzeugung                                 | 13,75        | 13,15 | 13,58 | 79,19              | 71,84 | 68,95 |
| NE-Metalle, -gießereien                         | 10,84        | 9,39  | 8,76  | 8,16               | 7,68  | 7,76  |
| Metallbearbeitung                               | 1,15         | 1,03  | 0,98  | 1,30               | 1,28  | 1,25  |
| Maschinenbau                                    | 0,58         | 0,51  | 0,49  | 0,61               | 0,59  | 0,58  |
| Fahrzeugbau                                     | 0,88         | 0,78  | 0,75  | 0,75               | 0,73  | 0,72  |
| Gummi- u. Kunststoffwaren                       | 1,98         | 1,71  | 1,44  | 1,26               | 1,24  | 1,11  |
| Sonstige Wirtschaftszweige                      | 0,60         | 0,53  | 0,50  | 0,72               | 0,69  | 0,66  |

Quelle: Fraunhofer ISI

Tab. 3-91: Energiebedarf in der Industrie nach Energieträgern im EWS

| Energieträger                            | 2008         | 2015         | 2020         | 2025         | 2030         | 2030<br>/2008 | EWS/APS    |            |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|------------|------------|
|  |              |              |              |              |              |               | 2020       | 2030       |
|  | PJ           |              |              |              |              |               |            |            |
| Steinkohle                               | 158          | 120          | 114          | 108          | 100          | -37%          | -4%        | -7%        |
| Braunkohle                               | 55           | 23           | 12           | 6            | 3            | -95%          | -17%       | -44%       |
| Koks                                     | 137          | 107          | 105          | 102          | 98           | -29%          | -3%        | -6%        |
| Heizöl, schwer                           | 54           | 48           | 43           | 39           | 35           | -36%          | -3%        | -6%        |
| Heizöl, leicht                           | 69           | 76           | 72           | 68           | 63           | -8%           | -3%        | -6%        |
| Petrolkoks                               | 19           | 16           | 16           | 15           | 14           | -28%          | -7%        | -10%       |
| Erdgas                                   | 574          | 669          | 632          | 595          | 604          | 5%            | -9%        | -8%        |
| Gichtgas                                 | 92           | 71           | 72           | 73           | 72           | -22%          | -3%        | -5%        |
| Kokereigas, Stadtgas, LPG, Raffineriegas | 46           | 37           | 35           | 33           | 31           | -33%          | -3%        | -5%        |
| Fernwärme und Industrie-KWK              | 380          | 329          | 330          | 327          | 266          | -30%          | 12%        | 0%         |
| Müll                                     | 29           | 47           | 58           | 71           | 87           | 204%          | 0%         | -4%        |
| Erneuerbare Energieträger                | 20           | 38           | 48           | 61           | 77           | 286%          | 22%        | 40%        |
| Strom                                    | 837          | 762          | 745          | 726          | 713          | -15%          | -5%        | -7%        |
| <b>Summe</b>                             | <b>2.471</b> | <b>2.344</b> | <b>2.282</b> | <b>2.224</b> | <b>2.163</b> | <b>-12%</b>   | <b>-3%</b> | <b>-5%</b> |

Quelle: Fraunhofer ISI

Tab. 3-92: Entwicklung des absoluten Strombedarfs in GHD je Wirtschaftszweig im EWS

| Wirtschaftszweig   | 2008         | 2020         | 2030         | Δ 2008 - 2030 |
|--|--------------|--------------|--------------|---------------|
|  | PJ           |              |              | %             |
| Handel; Instandhaltung und Reparatur von Fahrzeugen      | 117,8        | 104,1        | 62,6         | -46,9         |
| Sonstige Sektoren  | 69,7         | 74,7         | 68,2         | -2,1          |
| Gastgewerbe  | 39,6         | 35,2         | 29,5         | -25,7         |
| Gesundheits- und Sozialwesen                             | 34,7         | 37,7         | 32,7         | -5,8          |
| Verkehr und Lagerei, Information und Kommunikation       | 33,4         | 27,5         | 23,5         | -29,7         |
| Öffentliche Verwaltung, Verteidigung; Sozialversicherung | 30,1         | 24,1         | 19,0         | -37,0         |
| Erziehung und Unterricht                                 | 24,6         | 25,1         | 22,0         | -10,3         |
| Erbringung von Finanz- und Versicherungsdienstleistungen | 12,7         | 10,9         | 9,5          | -25,2         |
| <b>Alle Wirtschaftszweige</b>                            | <b>362,7</b> | <b>339,3</b> | <b>267,0</b> | <b>-26,4</b>  |

Quelle: Fraunhofer ISI

Tab. 3-93: Entwicklung des absoluten Strombedarfs in GHD je Anwendungsgruppe im EWS

| Anwendung                       | 2008  | 2020  | 2030  | Δ 2008 - 2030 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|---------------|
|                                 | PJ    |       |       | %             |
| Beleuchtung                     | 132,1 | 112,3 | 71,2  | -46,1         |
| Weitere Gebäudestromverbraucher | 54,8  | 62,2  | 46,3  | -15,5         |
| Kühl- und Gefriergeräte         | 35,4  | 32,6  | 28,1  | -20,4         |
| Umwälzpumpen                    | 33,8  | 31,0  | 26,4  | -21,9         |
| Kochen                          | 27,8  | 26,4  | 24,9  | -10,3         |
| Datencenter                     | 22,2  | 22,7  | 23,4  | 5,6           |
| Straßenbeleuchtung              | 15,6  | 12,5  | 10,6  | -32,2         |
| Lüftung und Klimatisierung      | 14,2  | 18,5  | 15,5  | 9,1           |
| IKT Büro                        | 12,6  | 7,2   | 7,7   | -38,8         |
| Waschen                         | 7,6   | 8,5   | 8,1   | 6,6           |
| Aufzüge                         | 6,7   | 5,5   | 4,8   | -27,9         |
| Alle Anwendungen                | 362,7 | 339,3 | 267,0 | -26,4         |

Quelle: Fraunhofer ISI

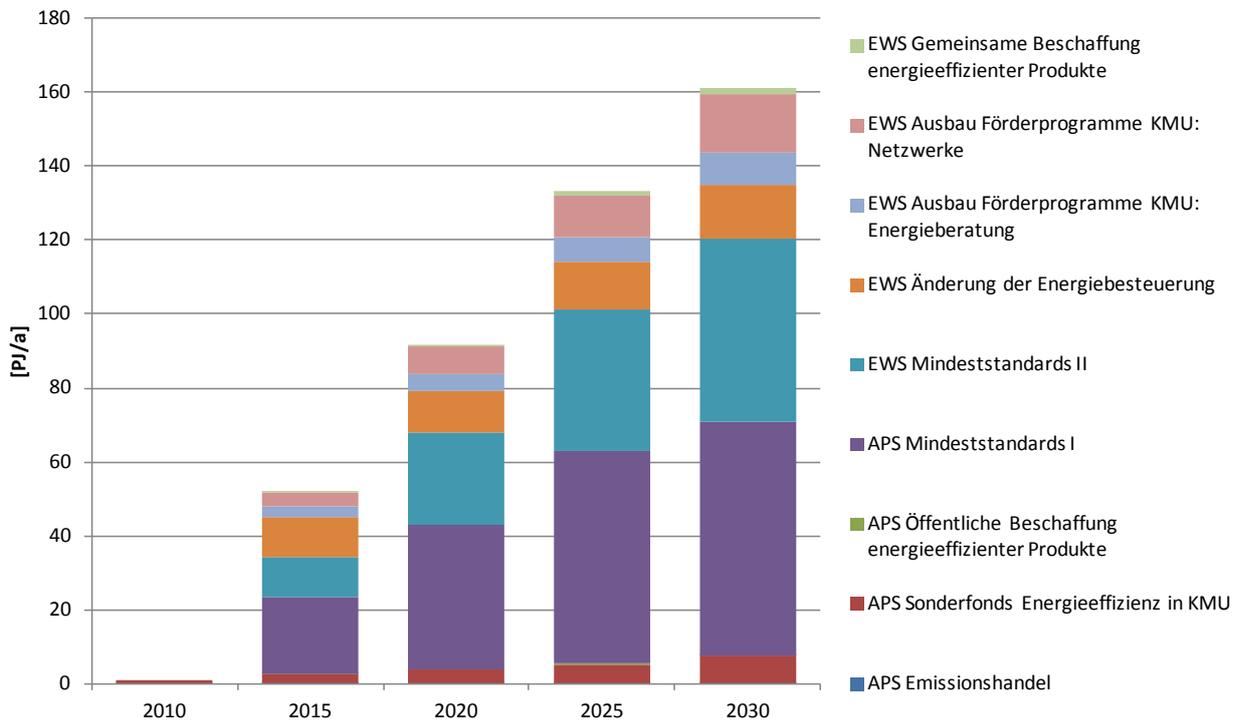
Im Folgenden sind die Energie- und CO<sub>2</sub>-Einsparungen je Maßnahme dargestellt. Beim Stromverbrauch werden insgesamt Einsparungen von etwa 161 PJ/a (bzw. 45 TWh/a) erreicht. Hier von entfallen 71 PJ/a auf das Szenario APS und die restlichen 90 PJ/a auf das EWS. In beiden Szenarien ist die bedeutendste Maßnahme die Einführung von Mindeststandards im Rahmen der EU-Ökodesign-Richtlinie. Weitere hohe Stromeinsparungen werden durch die KMU-Förderprogramme sowie eine Umstellung der Vergünstigungen bei der Energiesteuer erreicht. Die öffentliche Beschaffung energieeffizienter Produkte zeigt aufgrund der eingeschränkten Zielgruppe nur eine geringe Wirkung.

Zusammenfassend weisen die Maßnahmen im EWS deutliche Überschneidungen auf, die allerdings auch von Synergien geprägt sind. So können die Energieeffizienznetzwerke ein erster Schritt zu einem für den Spitzenausgleich geforderten Energiemanagementsystem sein. Auch Energieaudits sind ein wichtiges Element bei Energiemanagementsystemen oder Energieeffizienznetzwerken. Die Bedingung, den Spitzenausgleich an die Einführung von Energiemanagementsystemen zu koppeln, kann somit auch die Nachfrage nach anderen Instrumenten erhöhen.

Insgesamt verbleiben selbst im EWS noch weitere Einsparpotenziale. Maßnahmen wie der Ausbau der KMU-Förderprogramme oder die Umgestaltung der Steuervergünstigung (z.B. indem die Begünstigung durch den Spitzenausgleich an die Erfüllung unternehmensspezifischer Effizienzziele geknüpft wird) bergen sicherlich weitere Potenziale bei ambitionierterer Ausgestaltung.

Entsprechendes gilt auch für die Wirkung der Mindeststandards. Hier ist durchaus damit zu rechnen, dass besonders im Zeitraum von 2020 bis 2030 neue effizientere Gerätetypen auf den Markt kommen, die neue Spielräume für ambitioniertere Standards ermöglichen.

Abb. 3-9: Resultierende Stromeinsparungen nach Maßnahmen in APS und EWS in Industrie und GHD

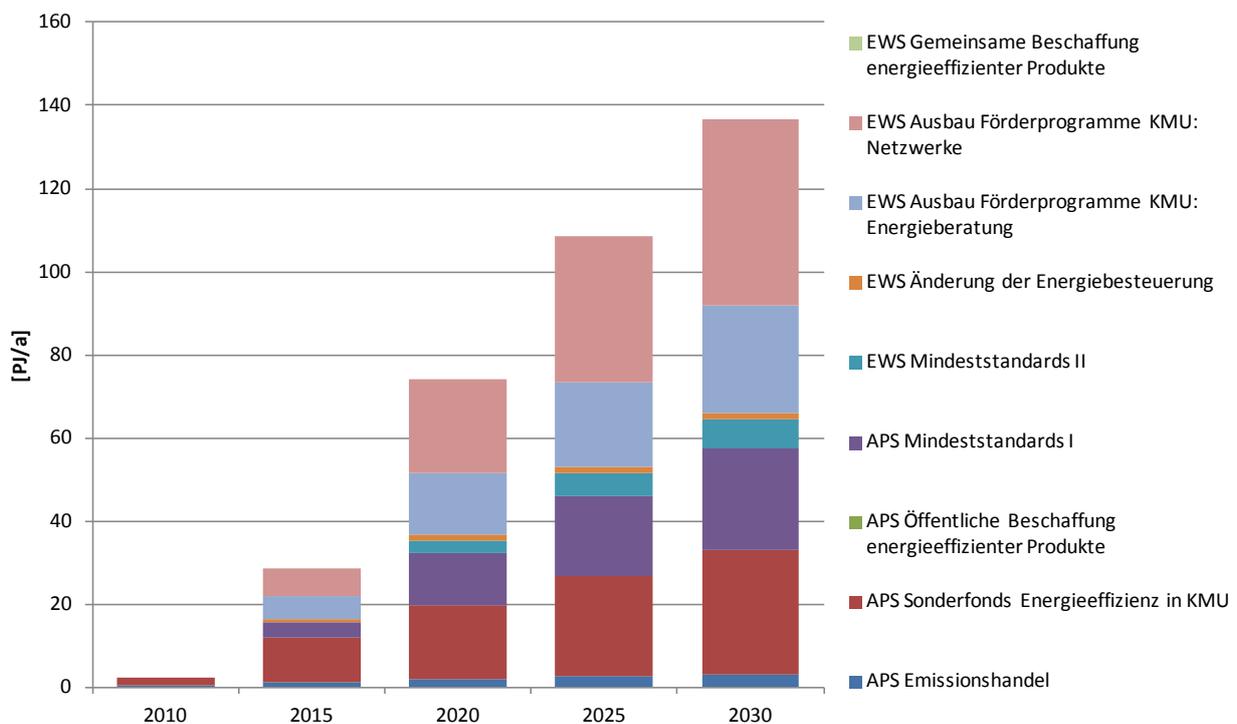


Quelle: Fraunhofer ISI

Beim Brennstoffbedarf werden insgesamt 136 PJ/a eingespart, wovon 57 PJ/a auf das APS und 79 PJ/a auf das EWS entfallen. Die Einsparungen entfallen vorwiegend auf vier Maßnahmen. Hier sind zunächst die Förderprogramme für KMU zu nennen, die sowohl in APS als auch in EWS hohe Einsparungen erzielen. Besonders im EWS kann über die Energieeffizienznetzwerke eine Zielgruppe, die mittelgroßen Unternehmen, erreicht werden, die im APS bisher kaum adressiert wurden, jedoch hohe Einsparpotenziale bieten. Wenngleich die Mindeststandards auch bei den Brennstoffeinsparungen bedeutend sind, so fällt ihr Anteil hier doch deutlich niedriger als bei den Stromeinsparungen aus. Hauptgrund hierfür ist die Tatsache, dass sich die meisten Lose der Ökodesign-Richtlinie an stromverbrauchende Produkte wenden, und die Produkte mit Brennstoffbedarf, wie Heizkessel, im Kapitel Raumwärme bilanziert werden. Auch die Änderungen der Energiebesteuerung fallen bei Brennstoffeinsparungen deutlich niedriger aus, was darauf zurück zu führen ist, dass die erlassenen Steuervergünstigungen hier mit 220 Millionen Euro in 2012 deutlich unter den Vergünstigungen der Stromsteuer liegen, welche im gleichen Jahr etwa 2 Milliarden Euro betragen. Entsprechend ist der von diesem Instrument adressierte Brennstoffbedarf eher gering, was vorwiegend daran liegt, dass die meisten brennstoffintensiven Prozesse bereits ohnehin von der Strom- und Energiesteuer ausgenommen sind (siehe Tab. 3-81 für eine Übersicht der von der betroffenen Produktionsprozesse). Dies ist bei stromverbrauchenden Anwendungen weniger der Fall. Schließlich fällt auch die Wirkung des Emissionshandels auf den ersten Blick sehr niedrig aus. Dies ist zum einen sicherlich auf die schlechte Verfügbarkeit von empirischen Daten zur Wirkung des Emissionshandels auf die energieintensive Industrie zurück zu führen, die eine Ex-ante-Modellierung unsicherer macht. Andererseits spiegelt es auch die Tatsache wider, dass der Emissionshandel sich ausschließlich an die energieintensivsten Prozesse der Industrie wendet, welche bereits in der Vergangenheit stärker auf Energieeffizienz optimiert wurden, als weniger energieintensive Berei-

che der Wirtschaft. Inkrementelle Einsparmlichkeiten sind hier hufig nur noch eingeschrnkt vorhanden und radikale Einspartechniken verbreiten sich nur langsam anhand der natrlichen Umwzlung des Anlagenbestandes und eher selten ber Modernisierung oder Nachrstung bestehender Anlagen. Des Weiteren hat die energieintensive Industrie in der Vergangenheit deutlich weniger am Emissionshandel teilgenommen als beispielsweise die Unternehmen der Energieversorgung. Entsprechend wurden Zertifikatspreise hufig nicht als Produktionsfaktor gesehen, der in die Produkte eingepreist werden msste. Geringe Brennstoffeinsparungen sind daher nicht unrealistisch, wenngleich die Ergebnisse auch hohen Unsicherheiten unterworfen sind, die erst mit besseren empirischen Daten verkleinert werden knnen. Dies gilt mit Einschrnkungen auch fr die anderen modellierten Manahmen. Wenngleich hier auf Ergebnisse erster Ex-post-Evaluierungen zurck gegriffen werden konnte, so gibt es bisher wenig Erkenntnisse ber die mgliche Langzeitwirkung der Instrumente und gerade Effekte wie „Free-Riders“, „Spill-Overs“ oder berschneidungen zwischen den Programmen haben in den Evaluierungen bisher wenig Aufmerksamkeit bekommen.

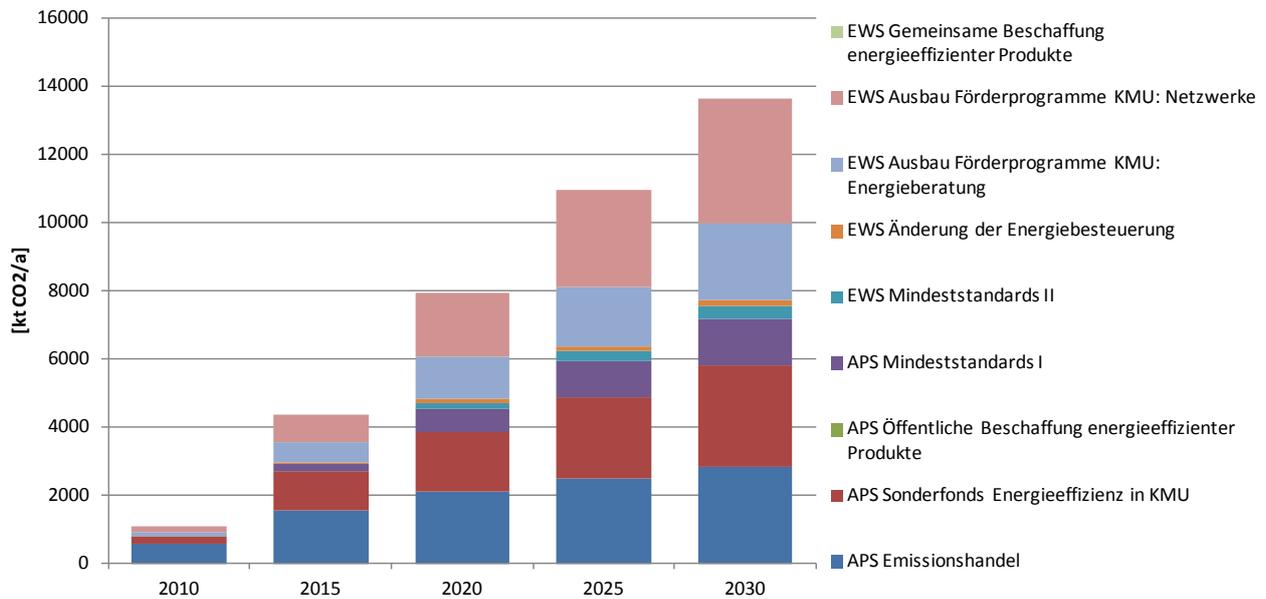
Abb. 3-10: Resultierende Brennstoff-Einsparungen in APS und EWS in Industrie und GHD



Quelle: Fraunhofer ISI

Die resultierende CO<sub>2</sub>-Vermeidung bis 2030 beluft sich im APS auf etwa 7 Mt/a und im EWS auf etwa 6,5 Mt/a (nur brennstoffbedingte, direkte Emissionen). Die Aufteilung der CO<sub>2</sub>-Vermeidung nach Instrumenten zeigt ein hnliches Bild wie bereits bei den Strom- und Energieeinsparungen. Alleine der Emissionshandel hat hier einen deutlich hheren Anteil, was daran liegt, dass neben den reinen Energieeinsparungen auch der Wechsel auf weniger CO<sub>2</sub>-intensive Brennstoffe bercksichtigt wurde. Dieser wird demnach weitaus starker vom Emissionshandel angestoen, als die reine Einsparung von Brennstoffen.

Abb. 3-11: Resultierende CO<sub>2</sub> Vermeidung durch Maßnahmen in APS und EWS in GHD und Industrie



Quelle: Fraunhofer ISI

Im den folgenden Tabellen ist die Wirkung der Instrumente nach Szenarien und Sektoren aufgeschlüsselt.

Tab. 3-94: Resultierende Wirkung je Maßnahme im APS im Sektor Industrie

| Maßnahme/<br>Umsetzung/<br>Institution  | Typ | Beschreibung/Ziele<br>(Wirkungsbereich)  | Umsetzungs-<br>stand<br>(Wirkungs-<br>beginn) | 2015                               | 2020 | 2025 | 2030  | 2015                    | 2020  | 2025  | 2030  |
|---|-----|--|---|------------------------------------|------|------|-------|-------------------------|-------|-------|-------|
|   |     |  |   | Direkte Emissionsminderungseffekte |      |      |       | Brennstoff Einsparungen |       |       |       |
|   |     |  |   | Mio. t CO <sub>2</sub> -Äqu.       |      |      |       | PJ                      |       |       |       |
| Emissionshandel   | E   | Handel mit Emissionszertifikaten (Cap and trade). Betrifft vorwiegend energieintensive Industrie.                          | in Kraft seit 2007                            | 1.56                               | 2.09 | 2.49 | 2.83  | 1.24                    | 1.90  | 2.71  | 3.25  |
| Sonderfonds Energieeffizienz in KMU   | F   | Koppelung von bezuschusster Energieberatung mit zinsgünstigen Investitionskrediten für Maßnahmenumsetzung. Zielgruppe: KMU | In Kraft seit 2008                            | 0.85                               | 1.31 | 1.65 | 1.90  | 8.66                    | 14.72 | 19.22 | 22.42 |
| Mindeststandards I (EU-Ökodesign Richtlinie)  | R   | Mindeststandards für energieverbrauchende Produkte auf Basis der Durchführungsmaßnahme bzw. niedrigste Lebenszykluskosten  | Umsetzung schrittweise 2010-2012              | 0.21                               | 0.70 | 1.07 | 1.33  | 3.83                    | 12.65 | 19.44 | 24.08 |
| <b>Ungewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen</b>                           |     |  |   |                                    |      |      |       |                         |       |       |       |
| <b>Gewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen (ohne Überlagerungseffekte)</b> |     |  |   | 2.63                               | 4.10 | 5.21 | 6.07  | 13.73                   | 29.27 | 41.37 | 49.75 |
|   |     |  |   | Effekt für Stromaufkommen          |      |      |       |                         |       |       |       |
|   |     |  |   | TWh                                |      |      |       |                         |       |       |       |
| Sonderfonds Energieeffizienz in KMU   | F   | Koppelung von bezuschusster Energieberatung mit zinsgünstigen Investitionskrediten für Maßnahmenumsetzung. Zielgruppe: KMU | In Kraft seit 2008                            | 0.71                               | 0.95 | 1.24 | 1.74  |                         |       |       |       |
| Mindeststandards I (EU-Ökodesign Richtlinie)  | R   | Mindeststandards für energieverbrauchende Produkte auf Basis der Durchführungsmaßnahme bzw. niedrigste Lebenszykluskosten  | Umsetzung schrittweise 2010-2012              | 4.08                               | 6.59 | 8.29 | 9.14  |                         |       |       |       |
| <b>Ungewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen</b>                           |     |  |   |                                    |      |      |       |                         |       |       |       |
| <b>Gewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen (ohne Überlagerungseffekte)</b> |     |  |   | 4.79                               | 7.55 | 9.52 | 10.87 |                         |       |       |       |

Quelle: Fraunhofer ISI

Tab. 3-95: Wirkung der Maßnahmen im EWS im Sektor Industrie

| Maßnahme/<br>Umsetzung/<br>Institution  | Typ | Beschreibung/Ziele<br>(Wirkungsbereich)  | Umsetzungs-<br>stand<br>(Wirkungs-<br>beginn) | 2015                               | 2020  | 2025  | 2030  | 2015                    | 2020  | 2025  | 2030  |
|---|-----|--|---|------------------------------------|-------|-------|-------|-------------------------|-------|-------|-------|
|   |     |  |   | Direkte Emissionsminderungseffekte |       |       |       | Brennstoff Einsparungen |       |       |       |
|   |     |  |   | Mio. t CO <sub>2</sub> -Äqu.       |       |       |       | PJ                      |       |       |       |
| Mindeststandards II<br>(EU-Ökodesign<br>Richtlinie)                                       | R   | Mindeststandards für<br>energieverbrauchende Produkte auf<br>Basis von bester verfügbarer Technik<br>(BVT)   | ab 2015                                       | -                                  | 0,17  | 0,30  | 0,39  | -                       | 3,15  | 5,43  | 7,03  |
| Änderungen<br>Energiebesteuerung  | F   | Die Gewährung des Spitzenausgleichs<br>im Rahmen der Energie- und<br>Stromsteuer soll an Nachweise zur<br>Energieeinsparungen und<br>Energiemanagement geknüpft werden | ab 2013                                       | 0,06                               | 0,11  | 0,13  | 0,16  | 0,66                    | 1,30  | 1,52  | 1,64  |
| Ausbau<br>Förderprogramme<br>KMU:<br>Energieberatung                                      | F   | Verdoppelung des<br>Energieberatungsprogramms<br>"Sonderfonds Energieeffizienz in<br>KMU"  | ab 2013                                       | 0,44                               | 0,94  | 1,28  | 1,63  | 4,22                    | 12,01 | 15,98 | 19,26 |
| Ausbau<br>Förderprogramme<br>KMU: Netzwerke   | V   | Einführung von etwa 300 zusätzlichen<br>Energieeffizienznetzwerken.<br>Zielgruppe: mittlere Unternehmen  | ab 2013                                       | 0,57                               | 1,41  | 2,08  | 2,60  | 5,13                    | 18,54 | 27,75 | 32,94 |
| <b>Ungewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen</b>                               |     |  |   |                                    |       |       |       |                         |       |       |       |
| <b>Gewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen<br/>(ohne Überlagerungseffekte)</b> |     |  |   | 1,07                               | 2,63  | 3,79  | 4,78  | 10,00                   | 35,00 | 50,68 | 60,87 |
|   |     |  |   | Effekt für Stromaufkommen          |       |       |       |                         |       |       |       |
|   |     |  |   | TWh                                |       |       |       |                         |       |       |       |
| Mindeststandards II<br>(EU-Ökodesign<br>Richtlinie)                                       | R   | Mindeststandards für<br>energieverbrauchende Produkte auf<br>Basis von bester verfügbarer Technik<br>(BVT)   | ab 2013                                       | 2,17                               | 4,47  | 5,73  | 6,08  |                         |       |       |       |
| Änderungen<br>Energiebesteuerung  | F   | Die Gewährung des Spitzenausgleichs<br>im Rahmen der Energie- und<br>Stromsteuer soll an Nachweise zur<br>Energieeinsparungen und<br>Energiemanagement geknüpft werden | ab 2013                                       | 2,97                               | 3,15  | 3,57  | 4,11  |                         |       |       |       |
| Ausbau<br>Förderprogramme<br>KMU:<br>Energieberatung                                      | F   | Verdoppelung des<br>Energieberatungsprogramms<br>"Sonderfonds Energieeffizienz in<br>KMU"  | ab 2013                                       | 0,77                               | 1,16  | 1,50  | 1,89  |                         |       |       |       |
| Ausbau<br>Förderprogramme<br>KMU: Netzwerke   | V   | Einführung von etwa 300 zusätzlichen<br>Energieeffizienznetzwerken.<br>Zielgruppe: mittlere Unternehmen  | ab 2013                                       | 0,98                               | 1,88  | 2,74  | 3,40  |                         |       |       |       |
| <b>Ungewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen</b>                               |     |  |   |                                    |       |       |       |                         |       |       |       |
| <b>Gewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen<br/>(ohne Überlagerungseffekte)</b> |     |  |   | 6,90                               | 10,65 | 13,54 | 15,49 |                         |       |       |       |

Quelle: Fraunhofer ISI

Tab. 3-96: Wirkung je Maßnahme im APS im Sektor GHD

| Maßnahme / Umsetzung / Institution  | Typ | Beschreibung / Ziele (Wirkungsbereich)   | Umsetzungsstand (Wirkungsbeginn) | 2015                               | 2020 | 2025 | 2030 | 2015                    | 2020 | 2025  | 2030  |
|---|-----|--|----------------------------------|------------------------------------|------|------|------|-------------------------|------|-------|-------|
|   |     |  |                                  | Direkte Emissionsminderungseffekte |      |      |      | Brennstoff Einsparungen |      |       |       |
|   |     |  |                                  | Mio. t CO <sub>2</sub> -Äqu.       |      |      |      | PJ                      |      |       |       |
| Ausbau von Förderprogrammen für KMU: Energieberatung                                  | F   | Verdoppelung des Energieberatungsprogramms "Sonderfonds Energieeffizienz in KMU"   | ab 2013                          | 0,18                               | 0,31 | 0,45 | 0,63 | 1,35                    | 2,75 | 4,24  | 6,76  |
| Ausbau von Förderprogrammen für KMU: Netzwerke  | V   | Einführung von etwa 300 zusätzlichen Energieeffizienznetzwerken. Zielgruppe: mittlere Unternehmen  | ab 2013                          | 0,21                               | 0,48 | 0,78 | 1,07 | 1,65                    | 4,25 | 7,36  | 11,56 |
| <b>Ungewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen</b>                           |     |  |                                  |                                    |      |      |      |                         |      |       |       |
| <b>Gewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen (ohne Überlagerungseffekte)</b> |     |  |                                  | 0,39                               | 0,78 | 1,22 | 1,70 | 3,00                    | 7,00 | 11,60 | 18,32 |
|   |     |  |                                  | Effekt für Stromaufkommen          |      |      |      |                         |      |       |       |
|   |     |  |                                  | TWh                                |      |      |      |                         |      |       |       |
| Mindeststandards II (EU-Ökodesign Richtlinie)   | R   | Mindeststandards für energieverbrauchende Produkte auf Basis von bester verfügbarer Technik (BVT)  | ab 2013                          | 0,86                               | 2,42 | 4,97 | 7,57 |                         |      |       |       |
| Ausbau von Förderprogrammen für KMU: Energieberatung                                  | F   | Verdoppelung des Energieberatungsprogramms "Sonderfonds Energieeffizienz in KMU"   | ab 2013                          | 0,05                               | 0,09 | 0,25 | 0,54 |                         |      |       |       |
| Ausbau von Förderprogrammen für KMU: Netzwerke  | V   | Einführung von etwa 300 zusätzlichen Energieeffizienznetzwerken. Zielgruppe: mittlere Unternehmen  | ab 2013                          | 0,06                               | 0,14 | 0,46 | 0,96 |                         |      |       |       |
| Gemeinsame Beschaffung  | V   | Beschaffung energieeffizienter Produkte und Dienstleistungen im Bereich der Länder und Kommunen sowie im privaten Dienstleistungsbereich | 2010                             | 0,17                               | 0,18 | 0,36 | 0,52 |                         |      |       |       |
| <b>Ungewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen</b>                           |     |  |                                  |                                    |      |      |      |                         |      |       |       |
| <b>Gewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen (ohne Überlagerungseffekte)</b> |     |  |                                  | 1,13                               | 2,83 | 6,05 | 9,59 |                         |      |       |       |

Quelle: Fraunhofer ISI

Tab. 3-97: Wirkung je Maßnahme im EWS im Sektor GHD

| Maßnahme / Umsetzung / Institution  | Typ | Beschreibung / Ziele (Wirkungsbereich)   | Umsetzungsstand (Wirkungsbeginn) | 2015                               | 2020 | 2025 | 2030 | 2015                    | 2020 | 2025  | 2030  |
|---|-----|--|----------------------------------|------------------------------------|------|------|------|-------------------------|------|-------|-------|
|   |     |  |                                  | Direkte Emissionsminderungseffekte |      |      |      | Brennstoff Einsparungen |      |       |       |
|   |     |  |                                  | Mio. t CO <sub>2</sub> -Äqu.       |      |      |      | PJ                      |      |       |       |
| Ausbau von Förderprogrammen für KMU: Energieberatung                                  | F   | Verdoppelung des Energieberatungsprogramms "Sonderfonds Energieeffizienz in KMU"   | ab 2013                          | 0,20                               | 0,30 | 0,4  | 0,60 | 1,40                    | 2,80 | 4,20  | 6,80  |
| Ausbau von Förderprogrammen für KMU: Netzwerke  | V   | Einführung von etwa 300 zusätzlichen Energieeffizienznetzwerken. Zielgruppe: mittlere Unternehmen  | ab 2013                          | 0,20                               | 0,50 | 0,80 | 1,10 | 1,60                    | 4,20 | 7,40  | 11,60 |
| <b>Ungewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen</b>                           |     |  |                                  |                                    |      |      |      |                         |      |       |       |
| <b>Gewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen (ohne Überlagerungseffekte)</b> |     |  |                                  | 0,40                               | 0,80 | 1,20 | 1,70 | 3,00                    | 7,00 | 11,60 | 18,30 |
|   |     |  |                                  | Effekt für Stromaufkommen          |      |      |      |                         |      |       |       |
|   |     |  |                                  | TWh                                |      |      |      |                         |      |       |       |
| Mindeststandards II (EU-Ökodesign Richtlinie)   | R   | Mindeststandards für energieverbrauchende Produkte auf Basis von bester verfügbarer Technik (BVT)  | ab 2013                          | 0,90                               | 2,40 | 5,00 | 7,60 |                         |      |       |       |
| Ausbau von Förderprogrammen für KMU: Energieberatung                                  | F   | Verdoppelung des Energieberatungsprogramms "Sonderfonds Energieeffizienz in KMU"   | ab 2013                          | -                                  | 0,10 | 0,30 | 0,50 |                         |      |       |       |
| Ausbau von Förderprogrammen für KMU: Netzwerke  | V   | Einführung von etwa 300 zusätzlichen Energieeffizienznetzwerken. Zielgruppe: mittlere Unternehmen  | ab 2013                          | 0,10                               | 0,10 | 0,50 | 1,00 |                         |      |       |       |
| Gemeinsame Beschaffung  | V   | Beschaffung energieeffizienter Produkte und Dienstleistungen im Bereich der Länder und Kommunen sowie im privaten Dienstleistungsbereich | 2010                             | 0,20                               | 0,20 | 0,40 | 0,50 |                         |      |       |       |
| <b>Ungewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen</b>                           |     |  |                                  |                                    |      |      |      |                         |      |       |       |
| <b>Gewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen (ohne Überlagerungseffekte)</b> |     |  |                                  | 1,10                               | 2,80 | 6,10 | 9,60 |                         |      |       |       |

Quelle: Fraunhofer ISI

### Vergleich der Emissionsentwicklungen in den Szenarien

Da die summarische Emissionsentwicklung für den GHD-Sektor bereits im Kapitel 3.3.2 dokumentiert wurde, erfolgt an dieser Stelle nur die Darstellung für die Wärmeerzeugungsanlagen der Industrie (die Emissionen aus dem Strom- und Fernwärmebedarf sowie der Industriekraftwerke werden im Kapitel 3.7 mit erfasst).

Im **Aktuelle-Politik-Szenario** verringern sich die Treibhausgasemissionen von 2008 bis 2020 um gut 3 auf fast 66 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. und bis 2030 um weitere ca. 2 auf etwa 64 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu., dies entspricht einer Minderung von 4,9 % (2020) bzw. 7,6 % (2030). Bezogen auf 1990 ergibt sich eine Emissionsminderung von 39 % bis 2020 und von 49 % bis 2030. Im Vergleich zum Jahr 2005 resultieren Emissionsminderungen von etwa 5 % (2020) bzw. fast 8 % (2030).

Tab. 3-98: Emissionsentwicklungen für die Sektoren Industrie und GHD im Vergleich der Szenarien, 1990-2030

|   | 1990                     | 2005   | 2008   | 2015                     | 2020   | 2025   | 2030   |
|---|--------------------------|--------|--------|--------------------------|--------|--------|--------|
|   | kt CO <sub>2</sub> -Äqu. |        |        |                          |        |        |        |
| CO <sub>2</sub> -Emissionen   |                          |        |        |                          |        |        |        |
| Entwicklung 1990 - 2008   | 107.367                  | 69.019 | 68.732 |                          |        |        |        |
| Aktuelle-Politik-Szenario   |                          |        |        | 66.532                   | 65.441 | 63.658 | 63.548 |
| Energiewende-Szenario   |                          |        |        | 63.958                   | 60.469 | 57.674 | 57.964 |
| CH <sub>4</sub> -Emissionen   |                          |        |        |                          |        |        |        |
| Entwicklung 1990 - 2008   | 184                      | 86     | 93     |                          |        |        |        |
| Aktuelle-Politik-Szenario   |                          |        |        | 61                       | 60     | 59     | 60     |
| Energiewende-Szenario   |                          |        |        | 58                       | 54     | 51     | 51     |
| N <sub>2</sub> O-Emissionen   |                          |        |        |                          |        |        |        |
| Entwicklung 1990 - 2008   | 796                      | 379    | 409    |                          |        |        |        |
| Aktuelle-Politik-Szenario   |                          |        |        | 352                      | 347    | 344    | 352    |
| Energiewende-Szenario   |                          |        |        | 339                      | 322    | 313    | 322    |
| Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O  |                          |        |        |                          |        |        |        |
| Entwicklung 1990 - 2008   | 108.348                  | 69.484 | 69.234 |                          |        |        |        |
| Aktuelle-Politik-Szenario   |                          |        |        | 66.944                   | 65.849 | 64.061 | 63.961 |
| Energiewende-Szenario   |                          |        |        | 64.355                   | 60.845 | 58.038 | 58.336 |
| Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O  |                          |        |        | Veränderung ab 1990 in % |        |        |        |
| Aktuelle-Politik-Szenario   |                          |        |        | -38,2%                   | -39,2% | -40,9% | -41,0% |
| Energiewende-Szenario   |                          |        |        | -40,6%                   | -43,8% | -46,4% | -46,2% |
| Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O  |                          |        |        | Veränderung ab 2005 in % |        |        |        |
| Aktuelle-Politik-Szenario   |                          |        |        | -3,7%                    | -5,2%  | -7,8%  | -7,9%  |
| Energiewende-Szenario   |                          |        |        | -7,4%                    | -12,4% | -16,5% | -16,0% |
| Anmerkungen: nur energiebedingte Emissionen in der Abgrenzung des NIR (ohne Brennstoffeinsatz in den Industriekraftwerken des Verarbeitenden Gewerbes). Brennstoffeinsatz für Strom- und Fernwärme ebenfalls hier nicht berücksichtigt. |                          |        |        |                          |        |        |        |

Quelle: UBA (2011a+b), Modellrechnungen von Fraunhofer ISI und Öko-Institut.

Im **Energiewende-Szenario** sinken die Treibhausgasemissionen im Vergleich zum Aktuelle-Politik-Szenario um weitere 5 bzw. 6 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. (2020 bzw. 2030) auf insgesamt 61 bzw. 58 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. Im Vergleich zum Jahr 1990 entspricht dies einer Reduzierung der gesamten Emissionen bis 2020 von rund 44 % und bis 2030 um etwa 46 %. Bezogen auf das Emissionsniveau von 2008 ergeben sich Treibhausgasreduzierungen von 12 % (2020) bzw. fast 16 % (2030). Im Vergleich zum Basisjahr 2005 beträgt die Emissionsminderung für die Wärmeerzeugungsanlagen der Industrie im EWS knapp 12 % bis 2020 und 16 % bis zum Jahr 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.

## 3.6 Private Haushalte - Strom

### 3.6.1 Rahmendaten

Die wesentlichen Parameter, die den Strombedarf der privaten Haushalte bestimmen, sind die Entwicklung der Bevölkerung und der privaten Haushalte. Die diesbezüglichen Rahmendaten und die dahinter stehenden Annahmen wurden bereits in Kapitel 2.1 beschrieben.

### 3.6.2 Maßnahmen

#### Aktuelle-Politik-Szenario

In den Modellanalysen für das Aktuelle-Politik-Szenario (APS) werden die folgenden Maßnahmen spezifisch betrachtet:

- a) **Verbindliche Energieverbrauchskennzeichnung:** Hier werden im APS diejenigen Gerätegruppen berücksichtigt, für die bereits eine Pflichtkennzeichnung unter der Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung (EnVKV) besteht und die Wirkung dieses Instruments quantifiziert. Dies betrifft folgende Gerätetypen: Haushaltskühl- und Gefriergeräte sowie deren Kombinationen, Waschmaschinen und Wäschetrockner sowie deren Kombinationen, Geschirrspüler, bestimmte Haushaltslampen, elektrische Backöfen sowie Raumklimageräte.
- b) **Mindesteffizienzstandards I (EU-Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG):** die Definition und Ausgestaltung dieses Instruments erfolgt analog zu den Sektoren Industrie und GHD (siehe Kapitel 3.5.2) und umfasst diejenigen Gerätegruppen, die im Haushaltssektor relevant sind.

Darüber hinaus werden die folgenden **flankierenden Instrumente** in die Analysen einbezogen, aber nicht spezifisch analysiert:

- c) **Freiwillige Kennzeichnungen (EU-Energy Star, Blauer Engel, EU-Umweltkennzeichen):** Diese – überwiegend von der EU-Ebene ausgehenden – Regelungen sind derzeit insbesondere für Geräte aus der Unterhaltungselektronik sowie Bürogeräte von Bedeutung, der nationale Blaue Engel für eine große Zahl von Geräten. Der Einfluss dieser Maßnahme auf den Stromverbrauch von Haushaltsgeräten lässt sich allerdings nur schwer quantifizieren, da eine Separierung der Maßnahmenwirkung vom allgemeinen energietechnischen Fortschritt und anderen Maßnahmen kaum möglich ist.
- d) **Einführung intelligenter Zähler zur Stromverbrauchsmessung (Neubau):** Durch eine Novelle des Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG) zur Liberalisierung des Messwesens werden innovative Verfahren der Strommessung sowie auch lastabhängige, zeitvariable Tarife ermöglicht und gefördert. Diese Novelle geht auf die Richtlinie zu Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen (RL 2006/32/EG, EDL-RL) zurück. Darin ist die individuelle verbrauchsabhängige Erfassung und Abrechnung des Energieverbrauchs verankert. Nach Artikel 13 Absatz 1 EDL-RL sollen die Mitgliedstaaten sicherstellen, dass alle Endkunden in den Bereichen Strom, Erdgas, Fernheizung und/oder -kühlung und Warmbrauchwasser – soweit es technisch machbar, finanziell vertretbar und im Vergleich zu den langfristig geschätzten potenziellen Einsparungen nicht kosten-wirksam ist - indivi-

duelle Zähler zu wettbewerbsorientierten Preisen erhalten, die jeweils den Energieverbrauch des Endkunden und die Nutzungszeit regelmäßig widerspiegeln. Vor diesem Hintergrund wurde § 21b des EnWG neu gefasst und § 40 Abs. 3 neu eingefügt. Danach müssen ab dem 1. Januar 2010 in Neubauten, bei größeren Sanierungen oder auf Nachfrage des Endkunden elektronische Stromzähler eingebaut werden, die dem jeweiligen Anschlussnutzer den tatsächlichen Energieverbrauch und die Nutzungszeit widerspiegeln (§ 21b Absatz 3a EnWG). Um die Maßnahme zwischen dem APS und dem EWS abzugrenzen, wird vorgeschlagen, im APS zunächst nur den Einsatz von intelligenten Messverfahren (Smart Meter) in Neubauten und seine Wirkung auf den Stromverbrauch zu modellieren. Die bisherigen Abschätzungen, u.a. in den Politikszenerarien V und Jochem, Gruber (2008), erwarten Einsparungen durch die Nutzung von Smart Metern von rund 5-6 % des jährlichen Strombedarfs eines privaten Haushalts. Grundlage dafür sind Literaturrecherchen und Ergebnisse von mehr als 40 bereits durchgeführten Studien in den USA, Kanada, Australien, Skandinavien und einigen anderen europäischen Ländern (Sothmann 2007, Fischer 2007, Fischer 2008). Auch eine nationale Studie im Auftrag des BMWi (KEMA 2009) kommt etwa auf diese Einsparrate. KEMA (2009) kann diese erwarteten Einsparungen jedoch nicht als gesichert betrachten. Durch die derzeit laufenden Pilotprojekte vieler Energieversorger mit dem Einbau von Smart Metern in privaten Haushalten dürfte sich in den kommenden Jahren die empirische Datenbasis für die Abschätzung von Energieeinsparungen durch intelligente Messverfahren jedoch verbessern.

### Energiewende-Szenario

Für das Energiewende-Szenario (EWS) wurden die folgenden Maßnahmen einer spezifischen Analyse unterzogen:

- a) **Energieverbrauchskennzeichnung auf Grundlage der revidierten Energieverbrauchskennzeichnungsrichtlinie der EU:** Am 17. November 2009 einigten sich die Europäische Kommission und das Europäische Parlament auf eine umfassende Revision der Energieverbrauchskennzeichnungsrichtlinie von 1992 (RL 92/75/EWG). Mit der Revision wird zum einen der Rahmen der von der Energieverbrauchskennzeichnung betroffenen Produktkategorien, der bisher nur auf elektrische Haushaltsgeräte beschränkt war, auf alle energieverbrauchsrelevante („energy-related“) Produkte ausgeweitet. Damit können in Zukunft sowohl nicht in den Bereich der privaten Haushalte fallende Produkte wie Elektromotoren als auch nicht-energieverbrauchende Produkte wie Fenster gekennzeichnet werden. Weiterhin wurde die Klassifizierung der Produkte insofern dynamisiert, als über die bisherigen Klassen A-G neue Energieeffizienzklassen von „A+“ bis A+++“ eingeführt wurden. Ein weiteres dynamisierendes Element stellt die zusätzliche, allerdings nicht bindende Vereinbarung dar, dass eine weitere Reskalierung der Klassen erfolgen soll, wenn ein erheblicher Anteil der Produkte im Binnenmarkt die zwei höchsten Energieeffizienzklassen erreicht (nach dem neuen Schema A++ und A+++ ) und wenn zusätzliche Einsparungen durch eine weitere Differenzierung der Produkte erzielt werden können. Die revidierte Energieverbrauchskennzeichnungsrichtlinie wurde im Juli 2010 im Amtsblatt der Europäischen Union veröffentlicht (RL 2010/30/EU) und ist ein Jahr später in nationales Recht umzusetzen. In Deutschland erfolgte die nationale Umsetzung mit dem Energieverbrauchskennzeichnungsgesetz vom 10. Mai 2012 (BGBl. I S. 1070). Die konkrete Anwendung für einzelne Gerätegruppen erfolgt seitens der EU-

Kommission durch, die Rahmenrichtlinie ergänzende, delegierte Verordnungen. Am 28. September 2010 wurden delegierte Verordnungen für Fernseher (VO 1062/2010/EU), Haushaltskühl- und -gefriergeräte (VO 1060/2010/EU), Haushaltswaschmaschinen (VO 1061/2010/EU) sowie Haushaltsgeschirrspüler (VO 1059/2010/EU) erlassen. Für Fernseher und Kühl- und Gefriergeräte muss die neue Produktkennzeichnung ab dem 30. November 2011 angewandt werden, für Waschmaschinen und Geschirrspüler ab dem 20. Dezember 2011. Spätestens für Ende 2014 ist nach Artikel 14 eine Evaluierung der Wirksamkeit der revidierten Richtlinie und ihrer delegierten Verordnungen durch die Europäische Kommission vorgesehen.

- b) **Mindesteffizienzstandards unter der EU-Ökodesign-Richtlinie II:** die Definition und Ausgestaltung dieses Instruments erfolgt analog zu den Sektoren Industrie und GHD (siehe Kapitel 3.5.2) und umfasst diejenigen Gerätegruppen, die im Haushaltssektor relevant sind.
- c) **Finanzielle Förderung hocheffizienter (marktbester) elektrischer Geräte:** Um die Marktdurchdringung hocheffizienter marktbester elektrischer Geräte zu beschleunigen, könnten für eine Übergangszeit auch finanzielle Förderprogramme einen Beitrag leisten. Im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative ist dies im Bereich Industrie und GHD für kommerzielle Kühleinrichtungen bereits umgesetzt, für Elektromotoren und deren Anwendungen in Pumpen und Ventilatoren sowie raumluftechnische Anlagen und Druckluftsysteme in Diskussion (z. B. zeitlich begrenzte Förderung für IE3-Motoren im Zeitfenster vor 2015/2017). Auch im Haushaltsbereich könnte ein solches Förderprogramm für einzelne Produktgruppen wie Kühl- und Gefriergeräte oder Waschmaschinen in Frage kommen. Bei der Konzeption des Programms ist dabei sicherzustellen, dass die ersetzten Altgeräte nicht weiterverwendet (Nachweispflicht) und Mitnahmeeffekte und Fehlallokationen weitgehend vermieden werden. Die Modellierung dieser Maßnahme erfolgt im Rahmen der Modellierung eines Energieeffizienzfonds, wie er in Abschnitt 5.1 bei den übergeordneten Instrumenten beschrieben wurde.

Darüber hinaus werden für das Energiewende-Szenario die folgenden **flankierenden Instrumente** berücksichtigt, jedoch nicht spezifisch bewertet:

- d) **Freiwillige Vereinbarung über eine konsumentenfreundliche Kennzeichnung energieverbrauchsrelevanter Geräte (Bestgerätekennzeichnung, Stromverbrauchsangaben):** Auch wenn die Durchführungsmaßnahmen unter der EU-Ökodesign-Richtlinie (RL 2009/125/EG) in Kombination mit der Revision der EU-Energieverbrauchskennzeichnungsrichtlinie schon viele Elemente der Maßnahme 8 zu energieeffizienten Produkten des integrierten Energie- und Klimaprogramms (IEKP) der Bundesregierung enthalten, so entsprechen sie immer noch nicht in vollem Umfang dem von der Bundesregierung angestrebten EU-Top-Runner-Ansatz mit folgenden Merkmalen: (1) Hohe Anforderungsniveaus, bei denen die - auch auf internationaler Ebene - leistungsfähigsten auf dem Markt anzutreffenden Produkte und Techniken als Referenz dienen. (2) Dynamisierung durch regelmäßige Überprüfung der Anforderungen nach einem produktspezifischen Zeitplan. (3) Technikneutrale Ausgestaltung der Anforderungen. (4) Kopplung der Durchführungsmaßnahmen mit Energieverbrauchskennzeichnung. Es ist daher zu untersuchen, inwieweit eine zusätzliche freiwillige Vereinbarung über eine konsumentenfreundliche Kennzeichnung energieverbrauchsrelevanter Geräte zu einer weiteren Erhöhung der Energieeffizienz elektrischer Geräte bei-

tragen kann. Ein weiteres Element dieser Strategie könnte es sein, einzelne Gerätegruppen, die substantiell besser sind als der Mindeststandard, für eine Übergangsperiode finanziell zu fördern um dadurch eine schnellere Markttransformation zu erreichen (siehe Maßnahme c).

- e) **Verbesserung der Marktüberwachung:** Sowohl die Durchführungsmaßnahmen unter der EU-Ökodesign-Richtlinie (RL 2005/32/EG über energiebetriebene Produkte sowie Neufassung RL 2009/125/EG über energieverbrauchsrelevante Produkte) als auch die revidierte EU-Energieverbrauchskennzeichnungs-Richtlinie können ihre volle Wirkung nur dann entfalten, wenn eine entsprechende Marktüberwachung stattfindet. Diese beinhaltet sowohl die Sicherstellung der Einhaltung der vereinbarten Mindeststandards und die korrekte Klassifizierung der Produkte durch die Hersteller als auch die Einhaltung der Kennzeichnungspflichten im Handel. Wie eine im Auftrag der EU-Kommission durchgeführte Evaluierung gezeigt hat, war diese Marktüberwachung bei der bisherigen Energieverbrauchskennzeichnungsrichtlinie (RL 92/75/EWG) in den meisten Mitgliedstaaten nicht ausreichend sichergestellt (Schlomann et al. 2009). Die rechtliche Grundlage für eine Verbesserung der Marktüberwachung in den einzelnen Mitgliedstaaten bildet die EU-Verordnung zur Marktüberwachung (VO 765/2008/EG), die Anfang 2010 in Kraft getreten ist und die generelle Anforderungen an die Akkreditierung und Marktüberwachung in Bezug auf die Vermarktung von Produkten stellt.<sup>26</sup> Die konkrete Umsetzung dieser Anforderungen in Deutschland ist noch genau zu spezifizieren. Im Hinblick auf eine Bewertung der Einsparwirkungen einer solchen Verbesserung der Marktüberwachung ist allerdings festzustellen, dass ein wirkungsvoller Vollzug die notwendige Voraussetzung für die oben definierte Modellierung der Ökodesign-Richtlinie und auch der revidierten Energieverbrauchskennzeichnungsrichtlinie darstellt. Es wird daher vorgeschlagen, diese Maßnahme als „weiche Maßnahme“ zu charakterisieren und nicht separat zu quantifizieren. Die Berücksichtigung dieser Maßnahmen erfolgt über einen Anstieg der Compliance-Rate. Dies gilt sowohl für den Sektor Private Haushalte als auch für die Industrie und den GHD-Sektor.

Flankierend zu der in Deutschland in die Zuständigkeit der Länder fallenden Marktüberwachung sollte die Bundesregierung

- eine bestehende Einrichtung (zum Beispiel Stiftung Warentest) in ihren Aufgaben erweitern oder eine neue Einrichtung aufbauen;
- diese Einrichtung die Bundesländer durch eine umfassende Information unterstützen;
- über diese Einrichtung die Öffentlichkeit durch regelmäßige Mitteilung der Prüfergebnisse mit Nennung der Hersteller und Produkte informieren.

Die Verstärkung von Informationskampagnen ist eine weitere wichtige flankierende Maßnahme, deren Einfluss jedoch ebenfalls nicht quantifiziert werden kann.

---

<sup>26</sup> [http://ec.europa.eu/enterprise/regulation/internal\\_market\\_package/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/enterprise/regulation/internal_market_package/index_en.htm).

### 3.6.3 Methodik

Die Berechnungen zum zukünftigen Energiebedarf elektrischer Haushaltsgeräte und sonstiger Stromanwendungen<sup>27</sup> in den privaten Haushalten erfolgen wie für die Sektoren GHD und Industrie mit dem Energienachfragemodell FORECAST (siehe Kapitel 3.5.3). Das Haushaltsmodul des FORECAST-Modells beinhaltet dabei folgende Gerätekategorien:

- Große elektrische Haushaltsgeräte (darunter Kühl- und Gefriergeräte, Spülmaschinen, Waschmaschinen, Trockner, Elektroherde)
- IKT-Endgeräte (darunter: Desktop-Computer, PC-Bildschirme, Computer Notebooks, Fernseher, Set-Top-Boxen, Modem/Router)
- Beleuchtung
- Klimageräte
- Sonstige elektrische Anwendungen: diese Kategorie stellt ein Restaggregat dar, das alle in den übrigen Bereichen noch nicht berücksichtigten elektrischen Anwendungen in den privaten Haushalten umfasst. Sie beinhaltet sowohl eine Vielzahl elektrischer Kleingeräte (u. a. Dunstabzugshaube, Mikrowelle, Kaffeemaschine, Bügeleisen, Staubsauger, Fön, Toaster, Rasierer) als auch potentielle neue Geräte, die bis 2030 in den Markt eindringen könnten. Nicht enthalten ist der Stromverbrauch für Raumwärme und Warmwasser, der im Rahmen des Gebäudemodells berechnet wird (siehe Kapitel 3.2.3). Da in Kapitel 3.2.3 die Heizungs-Umwälzpumpen nicht berücksichtigt werden, sind diese auch in der Kategorie "Sonstige elektrische Anwendungen" enthalten.

Der allgemeine Aufbau des Haushaltsgeräte-Moduls des FORECAST-Modells folgt den gleichen Strukturen wie das GHD- und Industriemodul. D. h., im Modell werden zum einen die wesentlichen Bestimmungsfaktoren (Aktivitäten) des Energiebedarfs bestimmt und zum anderen die Technikstruktur modelliert. Abb. 3-12 zeigt den entsprechenden Aufbau für das Haushaltsgeräte-Modul des Modells. Der zukünftige Gerätebestand wird über die jeweilige Nutzungs- oder Lebensdauer der Geräte und deren Standardabweichung sowie die Anzahl und Ausstattungsrate der Geräte ermittelt. Die Ausstattungsrate der privaten Haushalte ist determiniert durch eine logistische Funktion (Geroski 2000), die, ausgehend von einem statistisch verfügbaren oder ggf. geschätzten Bestand eines Gerätetyps im Basisjahr, dessen zukünftige Entwicklung anhand einer S-Kurve bestimmt, die so genannte Technik-Diffusion. Der spezifische Strombedarf pro Gerät ist das Produkt aus der spezifischen Leistung in den verschiedenen Betriebszuständen (Normalbetrieb und Standby, ggf. der Effizienzklasse) sowie der Nutzungszeit in den verschiedenen Betriebszuständen. Die gesamte Stromnachfrage für einen Haushaltsgerätetyp errechnet sich dann aus dem Gerätebestand und dem spezifischen Strombedarf pro Gerät.

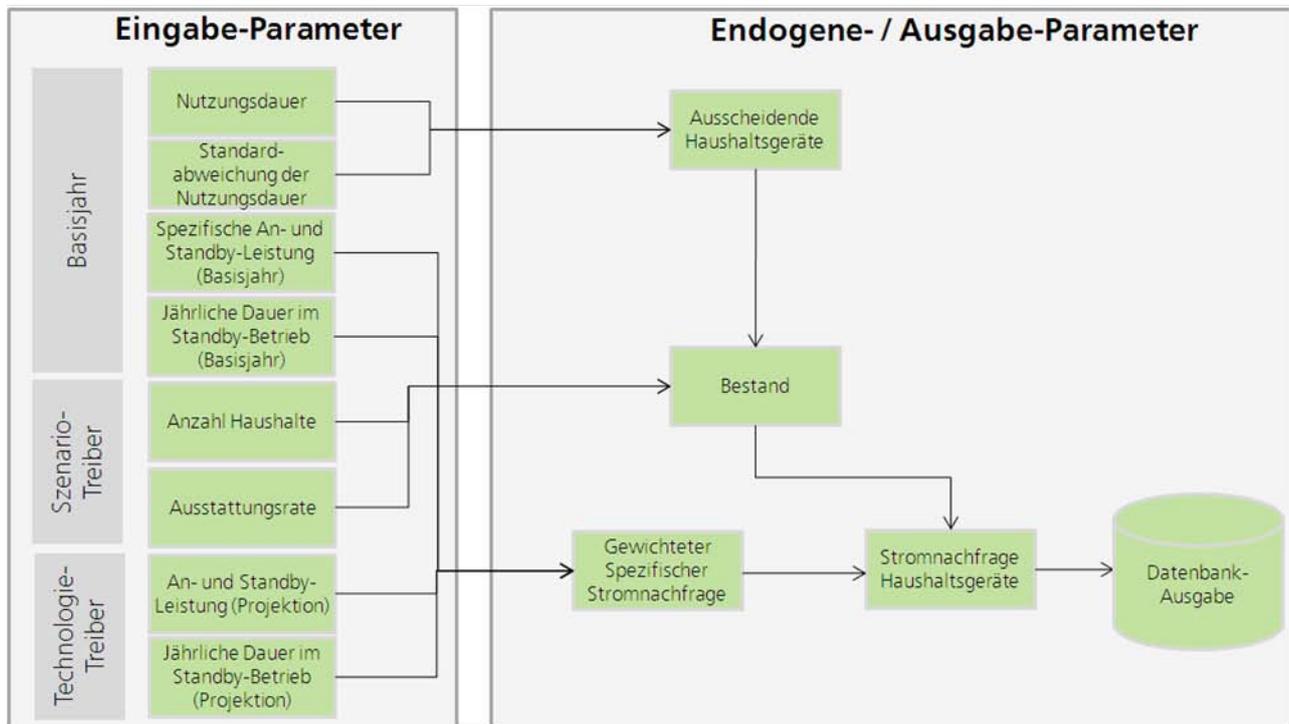
Dieser Aufbau gilt grundsätzlich für alle berücksichtigten Gerätekategorien mit Ausnahme der Beleuchtung und des Restaggregats der sonstigen elektrischen Anwendungen. Die Berechnung der Stromnachfrage der Beleuchtung basiert auf der Anzahl der Beleuchtungspunkte pro Wohneinheit und dem prozentualen Anteil der im Modell berücksichtigten Beleuchtungstechnologien (Glühlampen, Leuchtdioden, Leuchtstofflampen). Für die Gruppe der sonstigen elektrischen Anwendungen lässt sich dieser Ansatz aufgrund der großen Heterogenität nicht durch-

---

<sup>27</sup> Nicht berücksichtigt wird der Strombedarf für die elektrische Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser, der hier methodisch dem Gebäudesektor zugerechnet wird (siehe Kapitel 2.2).

führen. Der Stromverbrauch im Basisjahr 2008 wird daher als Differenz zum Stromverbrauch der privaten Haushalte laut Energiebilanz (AGEB 2011; ohne Verbrauch für Raumwärme und Warmwasser) ermittelt und für die Zukunft unter bestimmten Annahmen fortgeschrieben.

Abb. 3-12: Schematischer Aufbau des Haushaltsgeräte-Moduls innerhalb des FORECAST-Modells



Quelle: Fraunhofer ISI.

Um die Wirkung der für den Stromverbrauch privater Haushalte derzeit wichtigsten politischen Instrumente – die Energieverbrauchskennzeichnung und die Mindesteffizienzstandards unter der EU-Ökodesign-Richtlinie – quantitativ zu erfassen, werden innerhalb des Haushaltsgeräte-Moduls alle unter diese Richtlinien fallenden Produkte bezüglich der in Abb. 3-12 dargestellten Parameter separat abgebildet. Die Wirkungsabschätzung erfolgt dann wie folgt:

- **Energieverbrauchskennzeichnung:** Für die Wirkungsabschätzung der bisherigen Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung (EnVKV) im APS wird sich an den Ergebnissen aus Politikszenerien V (Matthes et al. 2009) orientiert und der Wirkungszeitraum entsprechend gekürzt, da sich hier seither bei dieser Maßnahme keine Veränderungen mehr ergeben haben. Die Wirkungen der revidierten Energieverbrauchskennzeichnungs-Richtlinie (RL 2010/30/EG) werden für diejenigen Produktgruppen abgeschätzt, für die es bereits eine Umsetzung durch eine delegierte Verordnung gibt. Die Wirkung wird gegenüber einer Referenzentwicklung ausgewiesen, bei der sich die technische Entwicklung vor Inkrafttreten der neuen Regulierung fortsetzt.
- **Mindesteffizienzstandards unter der EU-Ökodesign-Richtlinie (RL 2009/125/EG):** hier erfolgt die Wirkungsabschätzung methodisch unter den gleichen Annahmen wie für die Sektoren GHD und Industrie. D. h., im APS erfolgt eine Modellierung auf Basis der geringsten Lebenszykluskosten, im EWS wird auf Basis der besten verfügbaren Technik (BVT) modelliert. Wie bei der Energieverbrauchskennzeichnung wird die Wirkung ge-

genüber einer Referenzentwicklung berechnet, bei der sich die bisherige technische Entwicklung ohne Regulierung fortsetzt.

- Finanzielle Förderung hocheffizienter (marktbester) elektrischer Geräte: Für diese Maßnahme wird in Anlehnung an die Politikszenerarien V (Matthes et al. 2009) angenommen, dass etwa 200 Mio. Euro pro Jahr für die finanzielle Unterstützung des Kaufs hocheffizienter großer elektrischer Haushaltsgeräte zur Verfügung stehen. Bei einem Zuschuss von 100 Euro pro Gerät kann damit der vorzeitige Austausch von 2 Millionen Geräten pro Jahr gefördert werden. Es wird unterstellt, dass das Programm für Haushaltsgeräte spätestens 2020 beendet wird, da davon auszugehen ist, dass bis dahin die wesentlichen Potentiale bei großen elektrischen Geräten durch den Ersatz durch marktbester Geräte erschlossen sind. Die Förderung könnte entweder im Rahmen eines sektorübergreifenden Energieeffizienzfonds oder mit einem separaten Förderprogramm erfolgen, das beispielsweise im Rahmen der Nationalen Klimainitiative (NKI) aufgelegt wird. Ein solches Programm wurde für die NKI bereits konzipiert (Öko-Institut et al. 2008), aber bisher noch nicht durchgeführt. Dabei wird angenommen, dass durch die Konzeption des Programms sichergestellt ist, dass die ersetzten Altgeräte nicht weiterverwendet werden.
- Die Wirkung der flankierenden Instrumente wird nicht einzeln, sondern lediglich in der Summe abgeschätzt. Sie ergibt sich als Differenz zwischen den einzeln quantifizierten Wirkungen der Instrumente und dem im Haushaltsgerätemodell ermittelten gesamten Stromverbrauch in den beiden Szenarien (siehe Tab. 3-102 und Tab. 3-102). Alternativ zum Einsatz der flankierenden Instrumente könnte zur Ausschöpfung des berechneten gesamten Einsparpotenzials auch die Intensität der einzeln quantifizierten Instrumente erhöht werden (z.B. durch eine Aufstockung der finanziellen Förderung marktbester elektrischer Geräte).

Um auch die Kosten dieser politischen Maßnahmen bestimmen zu können (siehe Politikszenerarien-VI-Kostenbericht), wird zusätzlich für alle berücksichtigten Gerätekategorien eine Wirtschaftlichkeitsbewertung durchgeführt, die folgende Kostenkategorien berücksichtigt:

- Spezifische Investitionen der Geräte unter Berücksichtigung von Kostenlernfaktoren; aus den Investitionen werden nach der Annuitätenmethode die Kapitalkosten berechnet.
- Im Fall eines finanziellen Förderprogramms reduzieren sich die vom Investor getragenen Kosten um die Fördersumme, die in diesem Fall vom Staat getragen wird.
- Stromkosten der Geräte.
- Wartungs- und Instandhaltungskosten der Geräte.

### 3.6.4 Annahmen und Parameter

#### Gerätebestand

Der Gerätebestand wird hier über die geschätzte Entwicklung der Ausstattungsraten ermittelt, die mit der angenommenen Anzahl an Haushalten (siehe Kapitel 2.1) multipliziert wird. Für das APS und EWS wird mit den gleichen Gerätebeständen gerechnet. Die Annahmen zur Entwicklung der Ausstattungsraten orientieren sich dabei an den in den Politikszenerarien V (Matt-

hes et al. 2009) zu Grunde gelegten Trends. Die erwartete Entwicklung des Bestands an elektrischen Geräten in privaten Haushalten zeigt Tab. 3-99.

Die jeweiligen Ausstattungsraten der privaten Haushalte mit elektrischen Haushaltsgeräten im Basisjahr 2008 werden auf Grundlage der regelmäßigen Veröffentlichungen des ZVEI ermittelt. Im Hinblick auf die zukünftige Entwicklung wird für die meisten großen elektrischen Haushaltsgeräte mit nur noch geringfügig steigenden oder konstanten Ausstattungsraten gerechnet. Der moderate Bestandszuwachs ist daher überwiegend auf den angenommenen Anstieg der Anzahl an Haushalten von 39,6 Mill. in 2008 auf rund 41,0 Mill. bis 2030 zurückzuführen. Lediglich bei Spülmaschinen und Wäschetrocknern wird bis 2020 noch ein größerer Bestandszuwachs angenommen. Insgesamt wird dieser Teil des Stromverbrauchs in den kommenden Jahren jedoch überwiegend durch Ersatzbeschaffungen bestimmt.

Für IKT-Geräte wird hingegen für die meisten hier berücksichtigten Gerätegruppen mit weiter steigenden Ausstattungsraten gerechnet.<sup>28</sup> Dies gilt insbesondere für Computer, Set-top-Boxen und Router, wo noch deutliche Bestandszuwächse zu erwarten sind. Bei den dieses Verbrauchssegment insgesamt dominierenden Fernsehern dürfte sich allerdings die heute schon hohe Ausstattungsrate von rund 1,6 TV-Geräten pro Haushalt in Deutschland nur noch geringfügig erhöhen.

Das Modul Beleuchtung wird im Berechnungsmodell über die Anzahl der Beleuchtungspunkte pro Wohneinheit abgebildet. Hier wird mit einer weitgehend konstanten Anzahl gerechnet.

Schwierig zu bestimmen ist aufgrund der unzureichenden Datenlage der heutige und zukünftige Bestand an Klimageräten in privaten Haushalten. Die Abschätzung erfolgt hier in Anlehnung an die EuP-Vorstudie Lot 10 (2008) zu Raumklimageräten in privaten Haushalten und eine darauf aufbauende Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes (Barthel et al. 2010). Danach wird bis 2030 in etwa eine Verdoppelung des Bestands angenommen, allerdings auf niedrigem Niveau (Tab. 3-99).

---

<sup>28</sup> Die Annahmen für den Bestand an IKT-Geräten im Basisjahr und die künftige Bestandsentwicklung von IKT-Geräten basieren wie in den Politikszenerarien V (Matthes et al. 2010) im Wesentlichen auf Fraunhofer IZM, Fraunhofer ISI (2009).

Tab. 3-99: Erwartete Entwicklung des Bestands an elektrischen Geräten in privaten Haushalten 2008-2030

| Gerätebestand                      | 2008        | 2015   | 2020   | 2025   | 2030   |
|------------------------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
|                                    | 1.000 Stück |        |        |        |        |
| <b>Große elektrische HH-Geräte</b> |             |        |        |        |        |
| Kühlgeräte                         | 39.919      | 40.893 | 41.589 | 41.849 | 42.110 |
| Gefriergeräte                      | 21.796      | 23.869 | 25.350 | 26.935 | 28.520 |
| Waschmaschinen                     | 37.560      | 38.599 | 39.271 | 39.415 | 39.428 |
| Spülmaschinen                      | 24.368      | 27.530 | 29.423 | 30.588 | 31.751 |
| Trockner                           | 15.524      | 18.981 | 21.450 | 21.584 | 21.718 |
| Elektroherd                        | 33.445      | 34.486 | 35.015 | 35.124 | 35.250 |
| <b>IKT-Endgeräte</b>               |             |        |        |        |        |
| Computer-Desktop                   | 30.854      | 35.550 | 36.902 | 35.965 | 35.342 |
| PC-Bildschirme                     | 32.414      | 40.966 | 44.067 | 44.868 | 45.669 |
| Computer Notebook                  | 11.168      | 20.534 | 25.921 | 28.709 | 31.496 |
| Fernseher                          | 65.488      | 71.057 | 75.616 | 75.658 | 76.330 |
| Set-Top-Boxen                      | 36.024      | 62.531 | 79.320 | 79.817 | 80.315 |
| Modem/Router                       | 22.750      | 34.083 | 38.882 | 41.751 | 44.619 |
| <b>Beleuchtung</b>                 | 40.100      | 40.203 | 40.400 | 40.230 | 40.100 |
| <b>Klimageräte</b>                 | 1.104       | 1.635  | 1.883  | 2.032  | 2.091  |

Quellen: Barthelet et al. 2010, BITKOM (2008), EuP-Vorstudie Lot 10 (2008), Fraunhofer IZM/Fraunhofer ISI (2009), GfK (2002-2010), ZVEI (2006-2009), StBA (2007), StBA (2010), Schätzung Fraunhofer ISI.

### Spezifischer Geräteverbrauch

Der spezifische Stromverbrauch der einzelnen Gerätekategorien wird im Modell durch die jeweiligen Nutzungszeiten in den verschiedenen Betriebszuständen, die Verteilung der Anteile der Energieeffizienzklassen an den Geräteverkäufen sowie die spezifische Leistungsaufnahme in den verschiedenen Betriebszuständen bestimmt (Abb. 3-12). Letztere wiederum wird insbesondere durch die jeweiligen Anforderungen an Mindesteffizienzstandards durch die Ökodesign-Richtlinie bestimmt. Welche Annahmen dazu in den beiden Szenarien getroffen werden, wird gerätespezifisch in Zusammenhang mit der Quantifizierung dieser Maßnahme dargestellt (siehe dazu die entsprechenden Ausführungen im nachfolgenden Kapitel 3.6.5). Auch die Anteile der Energieeffizienzklassen an den Geräteverkäufen werden zumindest am unteren Rand durch die Anforderungen der Ökodesign-Richtlinie beschränkt, wodurch weniger effiziente Klassen zunehmend nicht mehr auf den Markt gebracht werden dürfen. Darüber hinaus wird im APS angenommen, dass sich die Entwicklung der Geräteverkäufe nach Effizienzklassen, wie sie bis 2008 nach den Angaben der GfK (2010) auf dem Markt zu beobachten war, auch in Zukunft fortsetzt. Für das EWS wird mit einer weiteren Verstärkung der Marktdynamik gerechnet. Dies schließt auch die Einführung einer ‘Neue Klasse’ ein, die stellvertretend für effizientere, bisher noch nicht definierte Effizienzklassen steht.

Die Nutzungszeiten in den verschiedenen Betriebszuständen sind vor allem für die IKT-Geräte relevant. Hier wird im Modell überwiegend auf die Annahmen in Fraunhofer IZM, Fraunhofer ISI (2009) zurückgegriffen. Für das APS und das EWS werden die gleichen Nutzungszeiten unterstellt. Für die meisten IKT-Geräte wird dabei von weiter steigenden Nutzungszeiten ausgegangen. Dies führt zu einer teilweisen Kompensation technischer Effizienzverbesserungen der Geräte und zu einem entsprechend geringeren Rückgang – oder sogar Anstieg - des spezifischen Stromverbrauchs. Den gleichen Effekt haben Trends wie größere Monitore und eine erhöhte Leistungsfähigkeit der Geräte (so genannter direkter Rebound-Effekt).

Die auf der Basis dieser Annahmen erwartete Entwicklung des spezifischen Verbrauchs im APS zeigt Tab. 3-100. Danach liegt der erwartete Rückgang des spezifischen Stromverbrauchs für die meisten großen elektrischen Geräte bis 2030 zwischen 30 und 40 Prozent. Für Elektroherde werden nur geringe Effizienzverbesserungen erwartet. Im Bereich der IKT-Geräte fallen die erwarteten spezifischen Verbrauchsreduktionen ebenfalls geringer aus als bei den meisten großen Haushaltsgeräten. Dies ist insbesondere auf die oben beschriebenen verbrauchssteigernden Faktoren zurückzuführen, die die technisch möglichen Effizienzverbesserungen teilweise kompensieren oder bei einigen Geräten sogar überkompensieren. Bei Klimageräten liegt der erwartete spezifische Verbrauchsrückgang im APS wie bei den Elektroherden unter 10 % bis 2030. Die Entwicklung wird hier vor allem durch die angenommenen Anteile der Effizienzklassen an den künftigen Geräteverkäufen bestimmt. Im APS wird angenommen, dass sich der Markt bis 2030 auf A-Geräte (mit einem Marktanteil von rund 60 %) und A+-Geräte (mit einem Marktanteil von 40 %) beschränkt, jedoch noch keine nennenswerten Anteile von A++-Geräten im Markt sind.

Neben Modem und Routern werden die höchsten spezifischen Verbrauchsrückgänge im APS im Bereich Beleuchtung erzielt. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass bereits in diesem Szenario davon ausgegangen wird, dass Glühbirnen aufgrund der Vorschriften unter der Ökodesign-Richtlinie zukünftig völlig aus dem Markt gehen werden. Halogenlampen bleiben nur noch als Nischenanwendungen im Markt bestehen. Als Ersatz kommen dafür im APS zunächst verstärkt Leuchtstofflampen zur Anwendung, die die Glüh- und Halogenlampen nahezu vollständig ersetzen. Leuchtdioden diffundieren im APS bis 2030 demgegenüber nur langsam in den Markt.

Tab. 3-100: Erwartete Entwicklung des spezifischen Verbrauchs elektrischer Geräte in privaten Haushalten 2008-2030 im APS

| Spezifischer Geräteverbrauch APS   | 2008      | 2015                                 | 2020  | 2025  | 2030  |
|------------------------------------|-----------|--------------------------------------|-------|-------|-------|
|                                    | kWh/Gerät | APS: Veränderung gegenüber 2008 in % |       |       |       |
| <b>Große elektrische HH-Geräte</b> |           |                                      |       |       |       |
| Kühlgeräte                         | 260       | -21,8                                | -35,9 | -41,6 | -48,1 |
| Gefriergeräte                      | 241       | -20,5                                | -32,8 | -36,3 | -40,8 |
| Waschmaschinen                     | 142       | -16,5                                | -27,2 | -31,1 | -36,1 |
| Spülmaschinen                      | 216       | -16,6                                | -27,6 | -31,4 | -36,4 |
| Trockner                           | 239       | -18,2                                | -30,7 | -36,7 | -43,7 |
| Elektroherd                        | 371       | -3,8                                 | -5,8  | -7,3  | -8,8  |
| <b>IKT-Endgeräte</b>               |           |                                      |       |       |       |
| Computer-Desktop                   | 181       | -2,4                                 | 0,4   | -23,5 | -29,1 |
| PC-Bildschirme                     | 60        | -5,3                                 | -3,7  | -6,4  | -15,1 |
| Computer Notebook                  | 77        | 30,6                                 | 34,3  | 4,8   | -4,6  |
| Fernseher                          | 194       | 4,2                                  | -1,3  | 9,9   | 15,6  |
| Set-Top-Boxen                      | 60        | 4,8                                  | 4,0   | -3,0  | -12,2 |
| Modem/Router                       | 35        | -7,2                                 | -18,7 | -34,1 | -51,9 |
| <b>Beleuchtung</b>                 | 305       | -16,2                                | -33,5 | -46,2 | -51,0 |
| <b>Klimageräte</b>                 | 489       | -0,8                                 | -1,8  | -5,1  | -8,2  |

Quellen: Schätzungen Fraunhofer ISI basierend auf EuP Prep. Studies (Lot 3, 5, 6, 10, 13, 14, 16, 18, 19), Barthel et al. 2010, EW/Prognos (2006), Fraunhofer ISI et al. (2009); Fraunhofer IZM/Fraunhofer ISI (2009), Olonscheck et al. (2011), Prognos (2007), Schlomann et al. (2005).

Die erwartete Entwicklung der spezifischen Geräteverbräuche im EWS zeigt Tab. 3-101. Bei den großen Haushaltsgeräten liegen zusätzliche Verbrauchsreduktionen gegenüber dem APS im

Jahr 2030 bei rund 10 Prozentpunkten. Dies ist im Wesentlichen auf die Annahme h"oherer Marktanteile der h"ochsten Energieeffizienzklassen (inkl. neuer hocheffizienterer Klassen) zur"uckzuf"uhren. Bei den Klimaanlage n f"allt die Differenz noch gr"o"ber aus. Bei der Beleuchtung, wo schon im APS hohe spezifische Verbrauchsreduktionen erzielt werden, sind die zus"atzlichen Einsparungen im EWS auf die st"arkere Marktdiffusion von Leuchtdioden zur"uck zu f"uhren. F"ur IKT-Ger"ate werden im EWS f"ur alle ber"ucksichtigten Ger"ategruppen spezifische Verbrauchsr"uckg"ange erzielt, die f"ur die meisten Kategorien zwischen 10 % und 20 % bis 2030 liegen. Die Differenz zwischen APS und EWS wird hier ausschlie"blich durch die st"arkere Marktdiffusion von energieeffizienten Technologien bestimmt, da f"ur die verbrauchssteigernden Faktoren wie steigende Nutzungszeiten, gr"o"bere Monitore oder die h"ohere Leistungsf"ahigkeit von Ger"aten die gleichen Annahmen getroffen werden wie im APS.

Tab. 3-101: Erwartete Entwicklung des spezifischen Verbrauchs elektrischer Ger"ate in privaten Haushalten 2008-2030 im EWS

| Spezifischer Ger"ateverbrauch EWS    | 2008       | 2015                                   | 2020  | 2025  | 2030  |
|--------------------------------------|------------|--|-------|-------|-------|
|                                      | kWh/Ger"at | EWS: Ver"anderung gegen"uber 2008 in % |       |       |       |
| <b>Gro"be elektrische HH-Ger"ate</b> |            |  |       |       |       |
| K"uhlger"ate                         | 260        | -38,2                                  | -53,9 | -58,6 | -67,5 |
| Gefrierger"ate                       | 241        | -28,1                                  | -40,6 | -69,1 | -56,0 |
| Waschmaschinen                       | 142        | -22,4                                  | -31,1 | -37,5 | -50,6 |
| Sp"ulmaschinen                       | 216        | -21,5                                  | -29,8 | -35,5 | -48,2 |
| Trockner                             | 239        | -21,2                                  | -29,2 | -43,6 | -62,2 |
| Elektroherd                          | 371        | -4,7                                   | -7,4  | -9,6  | -11,8 |
| <b>IKT-Endger"ate</b>                |            |  |       |       |       |
| Computer-Desktop                     | 181        | -12,8                                  | -13,4 | -31,3 | -39,7 |
| PC-Bildschirme                       | 60         | -15,4                                  | -16,9 | -16,0 | -27,7 |
| Computer Notebook                    | 77         | 16,7                                   | 15,8  | -5,9  | -18,7 |
| Fernseher                            | 194        | -6,9                                   | -14,8 | -1,4  | -1,6  |
| Set-Top-Boxen                        | 60         | -6,4                                   | -10,3 | -12,9 | -25,3 |
| Modem/Router                         | 35         | -17,1                                  | -29,9 | -40,9 | -59,0 |
| <b>Beleuchtung</b>                   | 305        | -31,0                                  | -48,8 | -61,1 | -70,6 |
| <b>Klimager"ate</b>                  | 489        | -11,5                                  | -14,1 | -21,1 | -28,0 |

Quellen: Sch"atzungen Fraunhofer ISI basierend auf EuP Prep. Studies (Lot 3, 5, 6, 10, 13, 14, 16, 18, 19), Barthel et al. 2010, EWI/Prognos (2006), Fraunhofer ISI et al. (2009); Fraunhofer IZM/Fraunhofer ISI (2009), Olonscheck et al. (2011), Prognos (2007), Schlomann et al. (2005).

F"ur die sonstigen elektrischen Anwendungen kann aufgrund der gro"ben Vielfalt und Heterogenit"at der darin enthaltenen Ger"ate anhand des hier verwendeten Bestandsmodells keine detaillierte Projektion durchgef"uhrt werden. Der Stromverbrauch im Basisjahr 2008 wird daher als Differenz zum Stromverbrauch der privaten Haushalte laut Energiebilanz (AGEB 2011; ohne Verbrauch f"ur Raumw"arme und Warmwasser) ermittelt und bis 2030 fortgeschrieben.

Innerhalb dieses Aggregats entf"allt der gr"o"bere Teil des Stromverbrauchs auf die Heizungs-Umw"alzpumpen, die daher separat ausgewiesen werden. Die Verbreitung von Umw"alzpumpen wird dabei "uber die Anzahl der Heizsysteme mit Wasserkreislauf abgesch"atzt, die aus dem Geb"audemodell vorliegt (siehe Kapitel 3.2). Die Effizienzsteigerung orientiert sich an der durchschnittlichen Verbesserung in den beiden Szenarien. Der "ubrige Teil des Stromverbrauchs dieser Gruppe enth"alt kleinere elektrische Ger"ate, die schon lange auf dem Markt sind (Kaffeemaschinen, Staubsauger, F"on, Toaster etc.) und f"ur die, in Anlehnung an die Absch"atzungen in den Politiksznarien V (Matthes et al. 2009) – ein Anstieg des Stromverbrauchs um rund 0,5 %

pro Jahr bis 2030 angenommen wird. Diese Gruppe enthält jedoch auch Stromverbräuche für neue Geräte und Anwendungen, die heute teilweise noch gar nicht auf dem Markt sind und die im Bestandsmodell noch nicht adäquat erfasst werden können. Dies gilt insbesondere für Geräte aus dem Bereich IKT. Für solche Stromanwendungen wird in verschiedenen Studien (Prognos, EWI 2006, Catenazzi 2009) als Referenzwert von einem jährlichen Anstieg der Stromnachfrage von 2,5 % ausgegangen. Auf dieser Grundlage wird daher hier bis 2020 für die sonstigen Stromanwendungen ein durchschnittlicher jährlicher Anstieg des Stromverbrauchs um 2 %/a bis 2020 angenommen, der sich bis 2030 auf rund 1 %/a reduziert. Dahinter steht die Annahme, dass der Einfluss von Effizienzverbesserungen gegenüber Bestandserhöhungen an Bedeutung gewinnen wird. Diese Annahmen werden sowohl für das APS als auch für das EWS zu Grunde gelegt.

### 3.6.5 Ergebnisse der Projektionen

#### Aktuelle-Politik-Szenario

Einen Überblick über die Entwicklung des Stromverbrauchs privater Haushalte im APS nach Anwendungsbereichen gibt Tab. 3-102. Bis 2020 wird noch mit einer Stabilisierung des Stromverbrauchs (Strom APS ohne Gebäudestrom) in etwa auf dem Niveau von 2008 gerechnet. In den Folgejahren ist auch bereits im APS ein leichter Rückgang des Stromverbrauchs der privaten Haushalte zu verzeichnen.

Tab. 3-102: Entwicklung des Stromverbrauchs privater Haushalte 2008-2030 im APS

| Stromverbrauch APS                    | 2008  | 2015  | 2020  | 2025  | 2030  |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                       | TWh   |       |       |       |       |
| Große Haushaltsgeräte                 | 42,3  | 38,5  | 35,5  | 34,2  | 32,5  |
| IKT-Geräte                            | 24,1  | 32,0  | 34,0  | 33,0  | 32,5  |
| Beleuchtung                           | 12,2  | 10,3  | 8,2   | 6,6   | 6,0   |
| <i>Strom aus Gebäuden</i>             | 33,9  | 30,5  | 27,3  | 24,1  | 20,9  |
| Klimatisierung                        | 0,5   | 0,8   | 0,9   | 0,9   | 0,9   |
| Kochen                                | 12,4  | 12,3  | 12,2  | 12,1  | 11,9  |
| Sonstige Stromanwendungen             | 14,1  | 17,0  | 18,6  | 18,7  | 19,4  |
| <i>darunter Heizungs-Umwälzpumpen</i> | 8,4   | 7,3   | 6,9   | 6,5   | 5,9   |
| <b>Strom APS inkl. Gebäudestrom</b>   | 139,5 | 141,4 | 136,7 | 129,6 | 124,2 |
| <b>Strom APS ohne Gebäudestrom</b>    | 105,6 | 110,9 | 109,4 | 105,5 | 103,3 |

Quellen: Schätzungen Fraunhofer ISI.

Im Aktuelle-Politik-Szenario (APS) werden dabei als relevante Maßnahmen die Wirkung der Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung (EnVKV) sowie von Mindeststandards basierend auf der EU Ökodesign-RL abgeschätzt. Auf Grundlage der oben dargestellten Annahmen ergeben sich dadurch im APS im Jahr 2020 jährliche Einsparungen<sup>29</sup> in Höhe von 32,4 TWh. Im Jahr 2030 steigen diese auf rund 38,2 TWh (siehe Tab. 3-103). Die größten Einsparungen ergeben sich durch die Ökodesign-Richtlinie. Das ist darauf zurück zu führen, dass hier bereits im

<sup>29</sup> Die Einsparpotentiale des APS werden gegenüber einer Referenzprojektion für den Stromverbrauch in den privaten Haushalten ausgewiesen, die kein Bestandteil der Szenarien dieser Studie ist und demzufolge auch nicht explizit aufgeführt ist.

APS eine ambitionierte Umsetzung der Ökodesign-Richtlinie für alle Produkte auf Basis der Durchführungsmaßnahme bzw., wenn noch nicht vorhanden, der niedrigsten Lebenszykluskosten angenommen wurde.

**Tab. 3-103: Wirkung der strombezogenen Maßnahmen im Sektor private Haushalte - APS**

| Maßnahme   | Typ | Beschreibung/Ziele<br>(Wirkungsbereich)  | Umsetzungs-<br>stand<br>(Wirkungs-<br>beginn) | Effekt für Stromaufkommen |      |      |      |
|--|-----|--|---|---------------------------|------|------|------|
|  |     |  |   | 2015                      | 2020 | 2025 | 2030 |
|  |     |  |   | TWh                       |      |      |      |
| Energieverbrauchskenn-<br>zeichnungsverordnung (EnVKV) /<br>Energieverbrauchshöchstwerteveror-<br>dung (EnVHV) | R   | Verpflichtende Kennzeichnung<br>des Energieverbrauchs und<br>anderer Ressourcen von<br>elektrischen Haushaltsgeräten<br>und Teil der Haushaltslampen<br>(berücksichtigte<br>Produktgruppen: Kühl- und<br>Gefriergeräte, Wasch- und<br>Spülmaschinen, Trockner,<br>elektrische Backöfen,<br>Beleuchtung, Klimageräte) | laufend seit<br>1.1.1998                      | 2,1                       | 3,7  | 4,1  | 4,5  |
| Mindeststandards I<br>(EU Ökodesign-RL)  | R   | Mindeststandards für<br>energieverbrauchende Produkte<br>auf Basis der<br>Durchführungsmaßnahme bzw.<br>niedrigste Lebenszykluskosten  | Umsetzung<br>schrittweise<br>ab 2010          | 15,4                      | 19,9 | 21,8 | 24,2 |
| Flankierende Instrumente (freiwillige<br>Kennzeichnungen, Smart Metering)                                      | I   |  |   | 6,1                       | 8,8  | 8,4  | 9,5  |
| Ungewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen   |     |  |   | 23,6                      | 32,4 | 34,3 | 38,2 |
| Gewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen (ohne Überlagerungseffekte)                                 |     |  |   | 23,6                      | 32,4 | 34,3 | 38,2 |

Quellen: Schätzungen Fraunhofer ISI basierend auf Politiksznarien V (Matthes et al. 2009).

Eine weitere Aufschlüsselung der Wirkung strombezogener Maßnahmen nach Gerätekatego-  
rien zeigt Tab. 3-104. Die größten Wirkungen der Ökodesign-Richtlinie werden danach unter  
den im APS getroffenen Annahmen bei den IKT-Geräten und der Beleuchtung erzielt. Weitere  
Einsparungen bei IKT-Geräten können durch die flankierenden Maßnahmen erzielt werden. Die  
größten Einsparpotentiale bei den großen Haushaltsgeräten lassen sich auf die Energiever-  
brauchskennzeichnungsverordnung zurückführen (Tab. 3-103).

Wie sich die durch verpflichtende Mindeststandards induzierten Effekte im Aktuelle-Politik-  
Szenario auf die berücksichtigten Produktgruppen aufteilen, zeigt Tab. 3-104. Die größten Wir-  
kungen der Ökodesign-Richtlinie werden danach unter den im APS getroffenen Annahmen bei  
den IKT-Geräte und der Beleuchtung erzielt.

**Tab. 3-104: Wirkung der strombezogenen Maßnahmen im Sektor private Haushalte nach Gerätekategorien - APS**

| Maßnahme  | Gerätekategorie                           | Effekt für Stromaufkommen |            |             |             |             |
|---|---|---------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|
|   |   | 2008                      | 2015       | 2020        | 2025        | 2030        |
|   |   | TWh                       |            |             |             |             |
| Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung (EnVKV) / Energieverbrauchshöchstwertverordnung (EnVHV) | Große Haushaltsgeräte (inkl. Elektroherd) | 0,0                       | 2,1        | 3,6         | 4,0         | 4,3         |
|   | IKT-Geräte                                | 0,0                       | 0,0        | 0,0         | 0,0         | 0,0         |
|   | Beleuchtung                               | 0,0                       | 0,0        | 0,0         | 0,0         | 0,0         |
|   | Klimatisierung                            | 0,0                       | 0,02       | 0,1         | 0,1         | 0,1         |
|   | Heizungs-Umwälzpumpen                     | 0,0                       | 0,0        | 0,0         | 0,0         | 0,0         |
|   | <b>Summe</b>                              |                           | <b>0,0</b> | <b>2,1</b>  | <b>3,7</b>  | <b>4,1</b>  |
| Mindeststandards I (EU Ökodesign-RL)  | Große Haushaltsgeräte (inkl. Elektroherd) | 0,0                       | 2,4        | 2,8         | 1,8         | 2,3         |
|   | IKT-Geräte                                | 0,0                       | 7,9        | 10,0        | 12,7        | 14,1        |
|   | Beleuchtung                               | 0,0                       | 4,1        | 5,1         | 5,0         | 5,1         |
|   | Klimatisierung                            | 0,0                       | 0,04       | 0,04        | 0,05        | 0,05        |
|   | Heizungs-Umwälzpumpen                     | 0,0                       | 0,9        | 1,9         | 2,4         | 2,7         |
|   | <b>Summe</b>                              |                           | <b>0,0</b> | <b>15,4</b> | <b>19,9</b> | <b>21,8</b> |
| Flankierende Instrumente (freiwillige Kennzeichnungen, Smart Metering)                            | Große Haushaltsgeräte (inkl. Elektroherd) | 0,0                       | 0,2        | 0,4         | 0,4         | 0,4         |
|   | IKT-Geräte                                | 0,0                       | 4,9        | 6,7         | 6,5         | 7,6         |
|   | Beleuchtung                               | 0,0                       | 0,3        | 1,3         | 1,0         | 0,6         |
|   | Klimatisierung                            | 0,0                       | 0,02       | 0,05        | 0,08        | 0,1         |
|   | Heizungs-Umwälzpumpen                     | 0,0                       | 0,6        | 0,4         | 0,4         | 0,7         |
|   | <b>Summe</b>                              |                           | <b>0,0</b> | <b>6,1</b>  | <b>8,8</b>  | <b>8,4</b>  |
| <b>Ungewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen</b>                                       |   | 0,0                       | 23,6       | 32,4        | 34,3        | 38,2        |
| <b>Ggewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen (ohne Überlagerungseffekte)</b>            |   | 0,0                       | 23,6       | 32,4        | 34,3        | 38,2        |

Quellen: Schätzungen Fraunhofer ISI.

### Energiewende-Szenario

Die erwartete Entwicklung des Stromverbrauchs privater Haushalte im EWS für die einzelnen Anwendungsbereiche zeigt Tab. 3-105. Hier wird insgesamt mit einem kontinuierlichen Rückgang des Stromverbrauchs (Strom EWS ohne Gebäudestrom) um knapp 22 TWh bis zum Jahr 2020 und weiteren rund 11TWh bis zum Jahr 2030 gerechnet, bezogen auf das Jahr 2008.

Tab. 3-105: Entwicklung des Stromverbrauchs privater Haushalte 2008-2030 im EWS

| Stromverbrauch EWS                    | 2008  | 2015  | 2020  | 2025  | 2030 |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|------|
|                                       | TWh   |       |       |       |      |
| Große Haushaltsgeräte                 | 42,3  | 35,4  | 32,6  | 29,0  | 26,4 |
| IKT-Geräte                            | 24,1  | 28,6  | 29,3  | 29,6  | 27,7 |
| Beleuchtung                           | 12,2  | 8,1   | 6,0   | 4,6   | 3,4  |
| <i>Strom aus Gebäuden</i>             | 33,9  | 29,2  | 23,8  | 17,5  | 11,3 |
| Klimatisierung                        | 0,5   | 0,7   | 0,8   | 0,8   | 0,7  |
| Kochen                                | 12,4  | 12,2  | 12,0  | 11,8  | 11,5 |
| Sonstige Stromanwendungen             | 14,1  | 14,6  | 15,2  | 15,4  | 15,6 |
| <i>darunter Heizungs-Umwälzpumpen</i> | 8,4   | 7,3   | 6,7   | 5,9   | 4,9  |
| <b>Strom NMS inkl. Gebäudestrom</b>   | 139,5 | 128,8 | 119,8 | 108,6 | 96,7 |
| <b>Strom NMS ohne Gebäudestrom</b>    | 105,6 | 99,6  | 96,0  | 91,1  | 85,4 |

Quellen: Schätzungen Fraunhofer ISI.

Im EWS werden dabei als relevante Maßnahmen die Wirkung der revidierten Energieverbrauchs-kennzeichnungsrichtlinie der EU (RL 2010/30/EU) sowie wiederum Mindeststandards auf Grundlage der EU-Ökodesign-RL abgeschätzt. In diesem Szenario wird jedoch durchgängig eine Umsetzung auf Basis der besten verfügbaren Technologie angenommen. Die relativ geringe Wirkung der Maßnahme ist vor allem darauf zurückzuführen, dass sich im Zeitablauf die Energieeffizienz des Marktdurchschnitts bis 2020 deutlich verbessert, sowohl autonom als auch durch die EU-seitigen Maßnahmen (Ökodesign-Mindeststandards und Energiekennzeichnung), so dass die zusätzliche Wirkung dieser Maßnahme gering ist. Um die kompletten Stromeinsparungen im EWS gegenüber dem APS zu erreichen, ist in gewissem Umfang der Einsatz flankierender Maßnahmen erforderlich. Auf Grundlage der oben dargestellten Annahmen ergeben sich dadurch im EWS im Jahr 2020 zusätzliche jährliche Einsparungen gegenüber dem APS in Höhe von 11,4 TWh. Im Jahr 2030 steigen diese auf rund 16,0 TWh (siehe Tab. 3-106).

Tab. 3-106: Wirkung der strombezogenen Maßnahmen im Sektor private Haushalte - EWS

| Maßnahme   | Typ | Beschreibung/Ziele<br>(Wirkungsbereich)  | Umsetzungs-<br>stand<br>(Wirkungs-<br>beginn) | Effekt für Stromaufkommen |      |      |      |
|--|-----|--|---|---------------------------|------|------|------|
|  |     |  |   | 2015                      | 2020 | 2025 | 2030 |
|  |     |  |   | TWh                       |      |      |      |
| Energieverbrauchskenn-<br>zeichnungsverordnung auf<br>Grundlage der revidierten<br>Energieverkennzeichnungs-Richtlinie<br>der EU (RL 2010/30/EU) | R   | Verpflichtende Kennzeichnung<br>des Energieverbrauchs und<br>anderer Ressourcen<br>energieverbrauchsrelevanter<br>Produkte (berücksichtigte<br>Produktgruppen: Kühl- und<br>Gefriergeräte, Wasch- und<br>Spülmaschinen, Trockner,<br>Fernseher, Klimageräte) | Schrittweise<br>ab 2012                       | 0,4                       | 1,2  | 1,4  | 2,1  |
| Mindeststandards II<br>(EU Ökodesign-RL)   | R   | Mindeststandards für<br>energieverbrauchende Produkte<br>auf Basis der besten<br>verfügbaren Technologie (BVT)   | Umsetzung<br>schrittweise<br>ab 2010          | 4,3                       | 5,4  | 7,5  | 8,7  |
| Finanzielle Förderung hocheffizienter<br>(marktbester) elektrischer Geräte   | F   | Finanzielle Förderung<br>hocheffizienter (marktbester)<br>elektrischer Geräte mit<br>verpflichtender Rückgabe der<br>Altgeräte   | Umsetzung<br>ab 2012/13                       | 1,1                       | 1,6  | 1,6  | 1,6  |
| Flankierende Instrumente (freiwillige<br>Kennzeichnungen, Smart Metering)  | I   |  |   | 3,9                       | 3,2  | 2,4  | 3,6  |
| Ungewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen   |     |  |   | 9,7                       | 11,4 | 12,9 | 16,0 |
| Ggewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen (ohne Überlagerungseffekte)  |     |  |   | 9,7                       | 11,4 | 12,9 | 16,0 |

Quellen: Schätzungen Fraunhofer ISI basierend auf Politiksznarien V (Matthes et al. 2009).

Entgegen dem APS zeigt eine weitere Aufschlüsselung der Wirkung strombezogener Maßnahmen nach Gerätekategorien beim EWS, dass sich die Potentiale hier wesentlich gleichmäßiger verteilen.

Tab. 3-107: Wirkung strombezogener Maßnahmen im Sektor private Haushalte nach Gebäudekategorien - EWS

| Maßnahme   | Geräteategorie                            | Effekt für Stromaufkommen |            |            |            |            |
|--|---|---------------------------|------------|------------|------------|------------|
|  |   | 2008                      | 2015       | 2020       | 2025       | 2030       |
|  |   | TWh                       |            |            |            |            |
| Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung auf Grundlage der revidierten Energieverkennzeichnungs-Richtlinie der EU (RL 2010/30/EU) | Große Haushaltsgeräte (inkl. Elektroherd) | 0,0                       | 0,0        | 0,2        | 0,3        | 0,4        |
|  | IKT-Geräte                                | 0,0                       | 0,3        | 1,0        | 1,1        | 1,7        |
|  | Beleuchtung                               | 0,0                       | 0,0        | 0,0        | 0,0        | 0,0        |
|  | Klimatisierung                            | 0,0                       | 0,0        | 0,0        | 0,0        | 0,0        |
|  | Heizungs-Umwälzpumpen                     | 0,0                       | 0,0        | 0,0        | 0,0        | 0,0        |
|  | <b>Summe</b>                              | <b>0,0</b>                | <b>0,4</b> | <b>1,2</b> | <b>1,4</b> | <b>2,1</b> |
| Mindeststandards II (EU Ökodesign-RL)  | Große Haushaltsgeräte (inkl. Elektroherd) | 0,0                       | 2,1        | 1,9        | 4,1        | 4,6        |
|  | IKT-Geräte                                | 0,0                       | 2,0        | 1,8        | 1,3        | 1,8        |
|  | Beleuchtung                               | 0,0                       | 0,0        | 1,5        | 1,6        | 1,7        |
|  | Klimatisierung                            | 0,0                       | 0,07       | 0,03       | 0,03       | 0,02       |
|  | Heizungs-Umwälzpumpen                     | 0,0                       | 0,02       | 0,2        | 0,5        | 0,6        |
|  | <b>Summe</b>                              | <b>0,0</b>                | <b>4,3</b> | <b>5,4</b> | <b>7,5</b> | <b>8,7</b> |
| Finanzielle Förderung hocheffizienter (makrtbesten) elektrischer Geräte  | Große Haushaltsgeräte (inkl. Elektroherd) | 0,0                       | 1,1        | 1,6        | 1,6        | 1,6        |
|  | <b>Summe</b>                              | <b>0,0</b>                | <b>1,1</b> | <b>1,6</b> | <b>1,6</b> | <b>1,6</b> |
| Flankierende Instrumente (freiwillige Kennzeichnungen, Smart Metering)   | Große Haushaltsgeräte (inkl. Elektroherd) | 0,0                       | 0,8        | 0,9        | 0,9        | 1,1        |
|  | IKT-Geräte                                | 0,0                       | 0,9        | 1,6        | 0,9        | 1,2        |
|  | Beleuchtung                               | 0,0                       | 2,2        | 0,7        | 0,5        | 0,9        |
|  | Klimatisierung                            | 0,0                       | 0,01       | 0,08       | 0,1        | 0,2        |
|  | Heizungs-Umwälzpumpen                     | 0,0                       | 0,0        | 0,0        | 0,0        | 0,3        |
|  | <b>Summe</b>                              | <b>0,0</b>                | <b>3,9</b> | <b>3,2</b> | <b>2,4</b> | <b>3,6</b> |
| Ungewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen   |   | 0,0                       | 9,7        | 11,4       | 12,9       | 16,0       |
| Ggewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen (ohne Überlagerungseffekte)  |   | 0,0                       | 9,7        | 11,4       | 12,9       | 16,0       |

Quellen: Schätzungen Fraunhofer ISI basierend auf Politikszenerien V (Matthes et al. 2009).

### 3.7 Erneuerbare Stromerzeugung

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). Das EEG wurde im Jahr 2004, 2008 und 2011 novelliert. Zielsetzung des EEG, das im Januar 2012 in Kraft tritt, ist der Ausbau des Anteils erneuerbarer Energien an der Stromversorgung auf mindestens 35 % des Stromverbrauchs bis 2020. Die Zielvorgaben für den weiteren Ausbau lauten mindestens 50 % bis 2030, mindestens 65 % bis 2040 und mindestens 80 % bis 2050. Der Anteil erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch soll einen Anteil von mindestens 18 % bis zum Jahr 2020 erreichen.

#### 3.7.1 Maßnahmen

##### Aktuelle-Politik-Szenario

Im Aktuelle-Politik-Szenario werden für den Bereich der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien die folgenden Maßnahmen spezifisch analysiert:<sup>30</sup>

- a) Als Basis für die Entwicklung der erneuerbaren Energien werden die Förderbedingungen des **EEG 2012** vom Stand Sommer 2011 zu Grunde gelegt.
- b) Flankiert wird die EEG-Novelle durch die **Beschlüsse zur Energiewende** vom 06.06.2011. Durch das KfW-Programm Offshore Windenergie werden 5 Mrd. € für die Finanzierungsunterstützung von bis zu zehn Projekten bereitgestellt, um die Finanzierungssituation der Offshore-Projekte zu verbessern. Weiterhin geplant ist eine Novelle des Bauplanungsrechts, die die baurechtliche Planungssituation für Photovoltaik und Windenergie-Repowering-Projekte verbessern soll. Zusätzlich soll der Netzausbau durch das Netzausbaubeschleunigungsgesetz (NABEG) verbessert werden. Hierzu gehören Erleichterung für den Bau von Erdkabeln bis zur 110-kV- Ebene, Sammelanbindung für Offshore-Windparks und verbesserte Planungsstrukturen für überregionale Leitungen. Der aktuelle „Nationale Aktionsplan für erneuerbare Energien“ (NREAP) (BRD 2010) gilt als Grundlage für die Projektion der Entwicklung der erneuerbaren Energien im Stromsektor bis 2020. Im weiteren Verlauf bis 2030 wird das Szenario „Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der Erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global“ (Update der Leitszenarien) vom Dezember 2010 zu Grunde gelegt.

##### Energiewende-Szenario

Für das Energiewende-Szenario werden zusätzlich die folgenden Maßnahmen in Ansatz gebracht und analysiert:

- c) **Weiterentwicklung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) 2012** im Rhythmus der Erfahrungsberichte. Dazu gehören die Anpassung der Vergütungssätze und Boni um eine kostengünstige Erreichung der Ausbauziele sicherzustellen. Das Leitszenario 2010 gilt als Orientierungsgrundlage für die Entwicklung der Politikszenerarien im Bereich der EE. Im Bereich der Photovoltaik wird aufgrund der Degressionsstaffelung im

---

<sup>30</sup> Dieser Bericht spiegelt dabei den Stand zur Mitte des Jahres 2011 wieder. Aktuellere Entwicklungen konnten dabei keine Berücksichtigung finden.

EEG 2012 von einem höheren Wachstum als in der Leitstudie (DLR, Fraunhofer IWES, IFNE 2010) ausgegangen, da die Staffelung der Vergütungsdegression einen Zielkorridor von bis zu 3500 MW pro Jahr impliziert.

- d) **Förderung der Offshore-Windkraft:** Zu den weiteren möglichen Maßnahmen im Bereich der Förderung erneuerbarer Energien gehören ggf. erweiterte Maßnahmen zum Ausbau der Offshore Windenergie. Zu diesen Maßnahmen könnten die Erweiterung der KfW-Kredite für die Windparks oder ein Ausschreibungsverfahren zählen. Zur langfristigen Sicherstellung der Offshore-Windenergie-Entwicklung wird der derzeitige Raumordnungsplan für die Ausschließliche Wirtschaftszone (AWZ) fortgeschrieben.
- e) **Förderung der Onshore-Windenergie:** Die im Energiekonzept beschriebenen Maßnahmen zum Ausbau/Repowering der Onshore-Windenergie werden als Alternative im Paket durch einen verstärkten Onshore-Ausbau abgebildet. Um die Potenziale für die Windenergie an Land optimal und zugleich umweltverträglich erschließen zu können wird angenommen, dass Bund und Länder die angekündigten Initiativen zur verstärkten Ausweisung der Windenergiegebiete in den Raumordnungsplänen, zur Lösung der Herausforderungen im Bereich der militärischen Radaranlagen und der Flugbefehuerung der Windenergieanlagen umsetzen. Zusätzlich wird eine mögliche hemmende Wirkung des Grünstromprivilegs auf das Repowering überprüft und die Regelung ggf. modifiziert bzw. abgeschafft.

### 3.7.2 Methodik

Die Entwicklung der erneuerbaren Energien stützt sich auf verschiedene bestehende Daten und Projektionen. Die Zahlen für das Jahr 2010 basieren auf der aktuellen Statistik der AGEE-Stat. Die Projektion im APS bis zum Jahr 2020 orientiert sich am Nationalen Aktionsplan für erneuerbare Energie (National Renewable Energy Action Plan, NREAP). Für die Entwicklung im Zeithorizont 2020-2030 wird die Entwicklung der Leitstudie 2010 für das Basisszenario 2010 A unterstellt. Aufgrund des verzögerten Starts beim Ausbau der Offshore-Windenergie, wird in der Projektion des APS-Szenarios ein zweijähriger Verzug gegenüber dem Ausbauplan der Leitstudie (DLR, Fraunhofer IWES, IFNE 2010) angenommen. Im EWS wird ein ähnliches Vorgehen gewählt. Die Basis für die Entwicklung bis 2020 ist der NREAP. Im Zeitraum nach 2020 wird ebenfalls das Szenario der Leitstudie zu Grunde gelegt. Aufgrund der zusätzlichen Maßnahmen im Bereich der Windenergie offshore wird jedoch, abweichend vom APS, davon ausgegangen, dass der Ausbaupfad der Leitstudie erreicht wird. Für die Windenergie onshore wird davon ausgegangen, dass aufgrund der unterstützenden Maßnahmen der Markt auf dem derzeitigen Niveau stabilisiert werden kann und somit ein jährlicher Zubau von 1500 MW pro Jahr bis 2030 erreicht wird. Entsprechen der Aufgabenstellung des EWS wird zusätzlich der Ausbau der PV untersucht. Die derzeitige Ausgestaltung der Degressionskorridore im EEG 2012 legt nahe das ein durchschnittlicher jährlicher Zubau von bis zu 3500 MW pro Jahr erreicht werden soll. Dabei wird davon ausgegangen, dass das EEG der zentrale Treiber für den Ausbau der PV ist. Dieser Zubau wird für den Zeitraum 2010 bis 2030 zu Grunde gelegt.

### 3.7.3 Ergebnisse der Projektionen

#### Aktuelle-Politik-Szenario

Die Entwicklung der installierten Leistung erneuerbarer Energien im Aktuelle-Politik-Szenario ist in Tab. 3-108 dargestellt. Die installierte Leistung wächst von ca. 55,8 GW im Jahr 2010 auf 109 GW im Jahr 2020. Bis zum Jahr 2030 steigt die Leistung bis auf 145 GW an. Gemessen an der Entwicklung des Bruttostromverbrauchs der Leitstudie (DLR, Fraunhofer IWES, IFNE 2010) steigt der Anteil erneuerbarer Energien bis zum Jahr 2020 auf ca. 37 % und wächst bis zum Jahr 2030 auf ca. 64 %.

Tab. 3-108: Installierte Leistung erneuerbarer Energien im Aktuelle-Politik-Szenario

|                          | 2010 | 2015 | 2020  | 2025  | 2030  |
|--------------------------|------|------|-------|-------|-------|
|                          | GW   |      |       |       |       |
| Wasserkraft              | 4,8  | 4,8  | 4,8   | 4,8   | 4,9   |
| Windenergie Onshore      | 27,2 | 33,6 | 35,8  | 36,8  | 37,8  |
| Windenergie Offshore     | 0,2  | 1,3  | 6,7   | 14,5  | 22    |
| Fotovoltaik              | 17,3 | 34,3 | 51,8  | 57,4  | 63    |
| Geothermie               | 0    | 0,1  | 0,3   | 0,7   | 1     |
| Biomasse (gas & flüssig) | 2,6  | 3,4  | 4     | 3,8   | 4     |
| Biomasse (fest)          | 2,2  | 3    | 3,6   | 3,9   | 4,2   |
| Abfall, biogen           | 1,5  | 1,6  | 1,7   | 1,7   | 1,7   |
| REG Stromimport          | 0    | 0    | 0,6   | 3,6   | 6,6   |
| Summe Erzeugung          | 55,8 | 82,1 | 109,3 | 127,2 | 145,2 |

Quelle: Eigene Berechnungen Fraunhofer ISI auf Basis von BRD (2010), DLR, Fraunhofer IWES, IFNE (2010) und AGEE-Stat.

#### Energiewende-Szenario

Die Entwicklung installierten Leistung erneuerbarer Energien im Neue-Maßnahmen-Szenario ist in Tab. 3-109 dargestellt. Die installierte Leistung wächst von ca. 55,8 GW im Jahr 2010 auf ca. 120 GW im Jahr 2020. Bis zum Jahr 2030 steigt die installierte Leistung bis auf 189 GW an. Gemessen am Bruttostromverbrauch der Leitstudie (DLR, Fraunhofer IWES, IFNE 2010) steigt der Anteil erneuerbarer Energien bis zum Jahr 2020 auf ca. 40 % und ca. 72 % im Jahr 2030.

Tab. 3-109: Installierte Leistung erneuerbarer Energien im Neue-Maßnahmen-Szenario

|                          | 2010 | 2015 | 2020  | 2025  | 2030  |
|--------------------------|------|------|-------|-------|-------|
|                          | GW   |      |       |       |       |
| Wasserkraft              | 4,8  | 4,8  | 4,8   | 4,8   | 4,9   |
| Windenergie Onshore      | 27,2 | 35   | 42,5  | 50    | 54,5  |
| Windenergie Offshore     | 0,2  | 3    | 10    | 17,5  | 25    |
| Fotovoltaik              | 17,3 | 34,8 | 52,3  | 69,8  | 87,3  |
| Geothermie               | 0    | 0,1  | 0,3   | 0,7   | 1     |
| Biomasse (gas & flüssig) | 2,6  | 3,4  | 4     | 3,8   | 4     |
| Biomasse (fest)          | 2,2  | 3    | 3,6   | 3,9   | 4,2   |
| Abfall, biogen           | 1,5  | 1,6  | 1,7   | 1,7   | 1,7   |
| REG Stromimport          | 0    | 0    | 0,6   | 3,6   | 6,6   |
| Summe Erzeugung          | 55,8 | 85,7 | 119,8 | 155,8 | 189,2 |

Quelle: Eigene Berechnungen Fraunhofer ISI auf Basis von BRD (2010), DLR, Fraunhofer IWES, IFNE (2010) und AGEE-Stat

Eine Aufstellung des zusätzlichen Ausbaus erneuerbarer Energien im Neue-Maßnahmen-Szenario findet sich in Tab. 3-110. Insbesondere die unterstützenden Maßnahmen im Bereich der Windenergie führen hier zu einer deutlich höheren Stromerzeugung. Der Anstieg im Bereich der PV ergibt sich aus der Annahme, dass der implizite Ausbaukorridor des EEG erreicht wird.

Tab. 3-110: Zusätzlicher Ausbau Erneuerbarer Energien im Neue-Maßnahmen Szenario

|                          | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|--------------------------|------|------|------|------|------|
|                          | GW   |      |      |      |      |
| Wasserkraft              | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| Windenergie Onshore      | 0    | 1,4  | 6,7  | 13,2 | 16,7 |
| Windenergie Offshore     | 0    | 1,7  | 3,3  | 3    | 3    |
| Fotovoltaik              | 0    | 0,5  | 0,5  | 12,4 | 24,3 |
| Geothermie               | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| Biomasse (gas & flüssig) | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| Biomasse (fest)          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| Abfall, biogen           | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| REG Stromimport          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| Summe Erzeugung          | 0    | 3,6  | 10,5 | 28,6 | 44,0 |

Quelle: Berechnungen Fraunhofer ISI

### 3.8 Fossile Stromerzeugung und Fernwärme

#### 3.8.1 Rahmendaten

Im Folgenden werden wesentliche von den Modellen ELIAS und PowerFlex verwendete Annahmen beschrieben, sofern sie über die übergreifenden Rahmendaten in Kapitel 1 hinausgehen.

#### Energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen

Ein wichtiger Parameter für die Entwicklung des Kraftwerksparks ist die Stilllegung bestehender Kraftwerke, zu der auch das gesetzlich vorgegebene Auslaufen der Kernenergie-Nutzung gehört. Eine weitere wichtige Randbedingung ist die Entwicklung der Stromnachfrage. Tab. 3-111 zeigt die Struktur des deutschen Kraftwerksparks im Basisjahr 2008. In der Modellierung werden dabei große Kraftwerke (elektrische Leistung größer 100 MW) blockscharf betrachtet, kleinere Kraftwerke sowie Sonstige und Erneuerbare gehen als Aggregate in die Modellierung ein.

Tab. 3-111: Struktur des Kraftwerksparks im Basisjahr 2008

| Kategorie                               | Blockscharf   | Aggregate<br>MW | Gesamt         |
|---|---------------|-----------------|----------------|
| Kernenergie                             | 20.486        | 0               | 20.486         |
| Braunkohle                              | 18.887        | 1.787           | 20.675         |
| Kondensation                            | 16.776        | 1.198           | 17.974         |
| KWK                                     | 2.112         | 589             | 2.701          |
| Steinkohle                              | 25.619        | 1.597           | 27.217         |
| Kondensation                            | 20.750        | 982             | 21.732         |
| KWK                                     | 4.869         | 616             | 5.485          |
| Erdgas                                  | 16.004        | 6.953           | 22.957         |
| Erdgas                                  | 3.635         | 374             | 4.009          |
| Erdgas - KWK                            | 1.149         | 605             | 1.754          |
| Erdgas - GuD                            | 3.132         | 146             | 3.278          |
| Erdgas - GuD -KWK                       | 6.477         | 1.526           | 8.003          |
| Erdgas - Gasturbine                     | 473           | 1.117           | 1.591          |
| Erdgas - Gasturbine - KWK               | 1.137         | 2.236           | 3.373          |
| Erdgas - BHKW                           | 0             | 949             | 949            |
| Leichtes Heizöl                         | 570           | 3.053           | 3.624          |
| Schweres Heizöl                         | 1.307         | 528             | 1.835          |
| Sonstige                                | 0             | 4.441           | 4.441          |
| Erneuerbare                             | 0             | 43.936          | 43.936         |
| Lauf- und Speicherwasser                | 0             | 3.507           | 3.507          |
| Windkraft onshore                       | 0             | 23.747          | 23.747         |
| Fotovoltaik, solarthermische Kraftwerke | 0             | 5.877           | 5.877          |
| Feste Biomasse                          | 0             | 1.587           | 1.587          |
| Biogas                                  | 0             | 1.406           | 1.406          |
| <b>Summe</b>                            | <b>82.874</b> | <b>62.296</b>   | <b>145.170</b> |

Quelle: Platts (2009), Destatis (2008), Destatis (2010), BMU (2009), FNR (2007), eigene Berechnungen.

Die technische Lebensdauer legt den Stilllegungszeitpunkt der Kraftwerke fest. Es handelt sich dabei um die technische Lebensdauer der Kraftwerke. Dabei knnen Investitionen, die die Lebensdauer verlngern, bercksichtigt werden, sofern sie einen signifikanten Teil der Kraftwerke eines Typs betreffen. So wurde beispielsweise die Lebensdauer von Braunkohle- und Steinkohlekraftwerken mit 45 bis 50 Jahren angegeben, da im Zuge der Einfhrung der Grobfeuerungsanlagenverordnung (13. BImSchV) in den 1980er und 1990er Jahren viele Kraftwerke NachrstsungsmaBnahmen unterzogen wurden (Tab. 3-112).

Tab. 3-112: Technische Lebensdauer der Bestandskraftwerke

| Kraftwerkstyp  | Lebensdauer der Kraftwerke in Jahren     |
|--|--|
| Steinkohle (Kondensation)                            | 45                                       |
| Steinkohle (KWK)                                     | 50                                       |
| Braunkohle (Kondensation)                            | 45                                       |
| Braunkohle (KWK)                                     | 50                                       |
| Erdgas (Kondensation)                                | 30 (Gasturbinen), 40 (andere)            |
| Erdgas (KWK)   | 20 (BHKW), 30 (Gasturbinen), 50 (andere) |
| Kernenergie  | nach AtG 2011                            |
| l  | 20 (BHKW), 30 (Gasturbinen), 35 (andere) |
| Erneuerbare (Wind, Geothermie, Photovoltaik, Biogas) | 20                                       |
| Abfall und Biomasse                                  | 35                                       |
| Wasser   | 100                                      |
| Sonstige   | 30-35                                    |

Quelle: ELIAS, lko-Institut.

Die Stilllegung der Kernkraftwerke erfolgt anhand der nach dem novellierten Atomgesetz (AtG 2011) gesetzlich vorgegeben Stilllegungsjahre (Tab. 3-113).

Tab. 3-113: Stilllegungsjahre einzelner Kernkraftwerke in Deutschland

| Kraftwerk         | Leistung (MW) | Baujahr | Stilllegungsjahr |
|-------------------|---------------|---------|------------------|
| Biblis A          | 1.163         | 1974    | 2011             |
| Biblis B          | 1.234         | 1976    | 2011             |
| Brokdorf 1        | 1.405         | 1986    | 2021             |
| Brunsbüttel 1     | 765           | 1977    | 2011             |
| Ems (Lingen) 1    | 1.329         | 1988    | 2022             |
| Grafenrheinfeld 1 | 1.276         | 1982    | 2015             |
| Grohnde 1         | 1.357         | 1985    | 2021             |
| Gundremmingen B   | 1.275         | 1984    | 2017             |
| Gundremmingen C   | 1.349         | 1985    | 2021             |
| Isar 1            | 865           | 1979    | 2011             |
| Isar 2            | 1.412         | 1988    | 2022             |
| Krümmel 1         | 133           | 1984    | 2011             |
| Neckarwestheim 1  | 797           | 1976    | 2011             |
| Neckarwestheim 2  | 1.329         | 1989    | 2022             |
| Philippsburg 1    | 879           | 1980    | 2011             |
| Philippsburg 2    | 1.384         | 1985    | 2019             |
| Unterweser 1      | 1.338         | 1978    | 2011             |

Quelle: Platts (2009). AtG (2011).

Die Stromnachfrage ergibt sich aus den in den Endverbrauchssektoren ermittelten Stromnachfragen (Abschnitt 3.10.2).

### Zubauoptionen

Nach Ermittlung des Investitionsbedarfs, der sich aus dem Ausscheiden alter Kraftwerke sowie aus der Entwicklung der Stromnachfrage, wird dieser im Modell durch den Zubau neuer Kraftwerke gedeckt. Dabei werden zunächst die Kraftwerkstypen berücksichtigt, für die ein Mindestzubau exogen vorgegeben ist (s. u.). Die verbleibende Lücke wird in Abhängigkeit von der Höhe der jeweiligen finanzmathematischen Durchschnittskosten der einzelnen Kraftwerkstypen geschlossen. Hierfür werden im Modell die finanzmathematischen Durchschnittskosten verschiedener neuer Kondensationskraftwerke und Heizkraftwerke (KWK-Anlagen) ermittelt. In die Berechnung der finanzmathematischen Durchschnittskosten fließen die Investitionskosten mit Bauherrneigenleistung, die Zinsen während der Bauzeit, die fixen Betriebskosten (Personalkosten, Wartungs- und Instandhaltungskosten, Versicherungskosten) sowie die variablen Betriebskosten<sup>31</sup> ein. Tab. 3-114 und Tab. 3-115 zeigen ausgewählte technische Daten und Kostenpositionen für das Bezugsjahr 2015 für Kondensationskraftwerke und KWK-Anlagen in der Übersicht. Weitere Kosten bzw. Erlöse ergeben sich aus den politischen Maßnahmen im Kraftwerksbereich (Abschnitt 3.8.2) sowie den Brennstoff- und CO<sub>2</sub>-Preisen (Kapitel 1). Alle Kostendaten sind in realen Preisen (€<sub>2008</sub>) angegeben. Den Berechnungen wird ein kalkulatorischer Zinssatz von 9 % zu Grunde gelegt. Die für die Investitionsrechnung notwendige Auslastung der Kraftwerke wird für jedes Szenario und Modellierungsjahr mit dem Kraftwerkseinsatzmodell PowerFlex berechnet (Abschnitt 3.8.3).

<sup>31</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.

Tab. 3-114: Ausgewählte Technik- und Kostendaten neuer Kondensationskraftwerke

|   | Einheit                                  | Steinkohle | Braunkohle | Erdgas GuD | Erdgas GuD | Gasturbine |
|---|--|------------|------------|------------|------------|------------|
| Elektrische Leistung                    | MW                                       | 750        | 950        | 800        | 400        | 250        |
| Elektrischer Wirkungsgrad               | %  | 48,0       | 44,5       | 61,4       | 61,4       | 38,5       |
| Investitionskosten                      | € <sub>2008</sub> /kW <sub>el</sub>      | 1.180      | 1.366      | 561        | 623        | 289        |
| Technische Lebensdauer                  | a  | 40         | 40         | 30         | 30         | 30         |
| Abschreibungsdauer                      | a  | 30         | 30         | 20         | 20         | 20         |
| Personalstärke                          | Angestellte                              | 86         | 103        | 43         | 26         | 15         |
| Wartung und Instandhaltung              | € <sub>2008</sub> /(kW <sub>el</sub> ·a) | 26,8       | 37,5       | 11,8       | 11,8       | 6,4        |
| Versicherung                            | % der Investitionskosten                 | 0,5        | 0,5        | 0,5        | 0,5        | 0,5        |
| Variable Betriebskosten                 | € <sub>2008</sub> /MWh <sub>el</sub>     | 2,0        | 2,3        | 0,5        | 0,5        | 0,5        |
| Spezifische CO <sub>2</sub> -Emissionen | g CO <sub>2</sub> /kWh <sub>el</sub>     | 705        | 906        | 328        | 328        | 524        |

Quelle: ELIAS.

Tab. 3-115: Ausgewählte Technik- und Kostendaten neuer KWK-Anlagen

|   | Einheit                                  | Erdgas GuD | Erdgas GuD | Erdgas GuD | Steinkohle (Industrie) | Steinkohle (Fernwärme) |
|---|--|------------|------------|------------|------------------------|------------------------|
| Elektrische Leistung                    | MW                                       | 30         | 100        | 407        | 320                    | 320                    |
| Thermische Leistung                     | MW                                       | 40         | 110        | 426        | 550                    | 550                    |
| Elektrischer Wirkungsgrad               | %  | 41,1       | 45,7       | 49,1       | 33,7                   | 42,5                   |
| Investitionskosten                      | € <sub>2008</sub> /kW <sub>el</sub>      | 1.118      | 685        | 561        | 1.613                  | 1.613                  |
| Technische Lebensdauer                  | a  | 25         | 25         | 25         | 35                     | 35                     |
| Abschreibungsdauer                      | a  | 15         | 15         | 15         | 15                     | 15                     |
| Personalstärke                          | Angestellte                              | 6          | 22         | 34         | 172                    | 172                    |
| Wartung und Instandhaltung              | € <sub>2008</sub> /(kW <sub>el</sub> ·a) | 50         | 32,5       | 27,5       | 70                     | 70                     |
| Versicherung                            | % der Investitionskosten                 | 2,0        | 2,0        | 2,0        | 2,0                    | 2,0                    |
| Variable Betriebskosten                 | € <sub>2008</sub> /MWh <sub>el</sub>     | 2,0        | 2,0        | 2,0        | 2,0                    | 2,0                    |
| Spezifische CO <sub>2</sub> -Emissionen | g CO <sub>2</sub> /kWh <sub>el</sub>     | 490        | 441        | 410        | 1.005                  | 796                    |

Quelle: ELIAS.

### 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 Braunkohlenvorkommen eingeschränkt. Im Rahmen der Modellierung wurde der Zubau von neuen Braunkohlekraftwerken deshalb auf eine Stromerzeugung von rund 110 TWh bis 2030 begrenzt. Zusammen mit den Bestandskraftwerken entspricht dies etwa der oberen Begrenzung, die in Diekmann et al. (2005) in Ansatz gebracht wurde.
- Die verfügbaren Wärmesenken für große konventionelle KWK-Anlagen (vor allem der Größenklasse mit elektrischen Leistungen über 200 MW) sind in Deutschland begrenzt. Der Ausbau von fossilen KWK-Anlagen der oberen Leistungsklassen wurde deshalb – bei einem stetigen Anstieg dieser Bounds – auf Basis von Horn et al. (2007) sowie weiterer Abschätzungen bis zum Jahr 2030 auf eine maximale Stromerzeugung von insgesamt rund 60 TWh (für Heizkraftwerke sowie industrielle KWK-Anlagen) begrenzt.

- Die installierte Leistung erneuerbarer Energien wird modellexogen vorgegeben. Hierzu werden die Werte der Projektion der erneuerbaren Energien (Abschnitt 3.7) übernommen. Die tatsächliche Stromerzeugung auf Basis erneuerbarer Energien wird im Kraftwerkseinsatzmodell PowerFlex ermittelt (Abschnitt 3.8.3).
- 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 werden. Aufgrund des Basisjahrs 2008 werden alle Kraftwerke mit einem Inbetriebnahmejahr nach 2008 berücksichtigt. Diese Kraftwerke entsprechen einer installierten elektrischen Leistung von rund insgesamt rund 11 GW (Tab. 3-116).

Tab. 3-116: Installierte elektrische Leistung von Kraftwerken, die sich in Planung bzw. Bau befinden

|            | 2009 | 2010  | 2011  | 2012  | Summe  |
|------------|------|-------|-------|-------|--------|
|            |      |       | MW    |       |        |
| Braunkohle | 0    | 2.100 | 670   | 0     | 2.770  |
| Steinkohle | 0    | 750   | 0     | 5.510 | 6.260  |
| Erdgas     | 876  | 480   | 606   | 0     | 1.962  |
| Summe      | 876  | 3.330 | 1.276 | 5.510 | 10.992 |

Quelle: Zusammenstellungen und Annahmen des Öko-Instituts.

### Zeitliche Struktur der Nachfrage und der fluktuierenden erneuerbaren Energien

Für die Kraftwerkseinsatzmodellierung mit PowerFlex wird ein stündlich aufgelöstes Nachfrageprofil exogen vorgegeben. Dieses basiert auf empirischen Daten für das Jahr 2008 (Entso-e 2008), das mit der jährlichen Stromnachfrage der einzelnen Szenarienjahren skaliert wird.

Darüber hinaus wird in PowerFlex ein Profil für die maximal<sup>32</sup> mögliche Einspeisung dargebotsabhängiger erneuerbarer Energien (Laufwasser, Wind onshore, Wind offshore, Photovoltaik) in jeder Stunde exogen vorgegeben.

### 3.8.2 Maßnahmen

#### Aktuelle-Politik-Szenario

Für die fossile Stromerzeugung werden für das APS die folgenden **ökonomischen Instrumente** spezifisch untersucht:

- Einführung des EU-Emissionshandelssystems:** siehe übergreifende Instrumente
- 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 Änderungen des Stromsteuergesetzes vom 15. Juli 2006 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 Jahresnut-

<sup>32</sup> D.h. ohne Abregelung.

zungsgrad 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.

- c) **Entgelte für vermiedene Netznutzung:** Mit dem im Sommer 2005 novellierten Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) sowie der dazugehörigen Stromnetzentgeltverordnung (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 Kriterien zur Bestimmung von Netznutzungsentgelten für elektrische Energie und über Prinzipien der Netznutzung vom 13. Dezember 2001“ (VV II plus) (BDI et. al. 2001) geregelt.

Im Bereich spezifischer **Fördermaßnahmen** werden die folgenden Instrumente spezifisch analysiert:

- d) **KWK-Gesetz 2002 mit Novellierung 2008 und 2011, KWK-Förderung im EEG:** Das Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG) aus dem Jahr 2002 (KWKG 2002) löste das KWK-Vorschaltgesetz vom 12. Mai 2000 (KWKG 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. Im Rahmen des 2008 novellierten KWKG wurden ab 2009 auch KWK-Anlagen mit einer installierten elektrischen Leistung von mehr als 2 MW gefördert, sofern sie bis 2016 in Betrieb genommen werden. Die maximale Förderdauer betrug 30.000 Stunden beziehungsweise vier Jahre für industrielle KWK-Anlagen und sechs Jahre für Fernwärme-KWK-Anlagen. Die Betreiber förderberechtigter KWK-Anlagen erhalten einen Zuschlag für den erzeugten KWK-Strom, wobei sich die Höhe des Zuschlags nach der Anlagenkategorie richtet. Mit der Novellierung des KWKG am 30. Juni 2011 wurde der Geltungszeitraum auf KWK-Anlagen, die bis zum Jahr 2020 in Betrieb gehen, erweitert. Des Weiteren wurde die Deckelung auf vier bzw. sechs Jahre aufgehoben. Insgesamt ist das novellierte KWKG die wichtigste Fördermaßnahme für die Kraft-Wärme-Kopplung in Deutschland. Darüber hinaus wird die KWK im Rahmen

der erneuerbaren Stromerzeugung<sup>33</sup> gefördert sowie über den Wärmebenchmark des Europäischen Emissionshandels. Nach dem KWKG wird auch der Aus- und Neubau von Wärmenetzen mit einem Investitionszuschuss gefördert. Da der überwiegende Teil der netzgebundenen Wärmeeinspeisung aus KWK-Anlagen erfolgt, wird dadurch indirekt die Nutzung der KWK ausgebaut oder zumindest stabilisiert.

- e) **Förderung hocheffizienter Kraftwerke:** Um die Wettbewerbssituation kleinerer Anbieter auf dem Strommarkt zu verbessern, wird die Bundesregierung unter folgenden Bedingungen die im europäischen Energie- und Klimapakete vereinbarte Möglichkeit nutzen, den Neubau hocheffizienter und CCS-fähiger fossiler Kraftwerke zu fördern:
- i) Förderfähig sind Kraftwerksbetreiber mit einem Anteil an den deutschen Erzeugungskapazitäten von weniger als 5 %.
  - ii) Förderfähig sind hocheffiziente und CCS-fähige Kraftwerke, vorrangig Kraftwerke mit Kraft-Wärme-Kopplung.
  - iii) Die Fördersumme ist begrenzt auf 5 Prozent der jährlichen Ausgaben des Energie- und Klimafonds in den Jahren 2013 bis 2016.

Im Bereich des **Ordnungsrechts** wird im Aktuelle-Politik-Szenario spezifisch berücksichtigt:

- f) **Atomausstieg** wie vorgesehen im 13. Gesetz zur Änderung des Atomgesetzes vom Juli 2011 vorgesehen. Der Ausstieg erfolgt sukzessive bis zum Jahr 2022.

### **Energiewende-Szenario**

Für das Energiewende-Szenario werden die folgenden **ökonomischen Instrumente** einer spezifischen Analyse unterzogen:

- a) **Weiterentwicklung Emissionshandel** (siehe übergreifende Instrumente)
- b) **KWKG 2013:** Die Förderung von neuen (großen und kleinen) KWK-Anlagen wie im KWKG 2011 vorgesehen, wird über das Jahr 2020 hinaus verlängert, wobei die Förderung auf 40.000 Betriebsstunden erweitert wird. Des Weiteren wird im KWKG 2013 eine Förderung von Wärmespeichern (250 € je Kubikmeter Wasseräquivalent) vorgesehen, die eine (zeitweise) stromgeführte Fahrweise von KWK-Anlagen ermöglicht und damit einen Beitrag zur Integration fluktuierender erneuerbarer Energien darstellt. Über eine angepasste Förderung der Nah- und Fernwärmeinfrastruktur werden die frei Heizkraftwerk anlegbaren Wärmeerlöse verbessert (s.u.).
- c) **Maßnahmenpaket zur Verbesserung der Erlöse für KWK-Wärme:** Für die Wirtschaftlichkeit von (neu zu errichtenden) KWK-Anlagen bildet die Wärmegutschrift einen entscheidenden Parameter. Hier werden einerseits die Effekte der Energie- bzw. CO<sub>2</sub>-Besteuerung für die ungekoppelte Wärmeerzeugung (siehe übergreifende Maßnahmen Kapitel 3.1) sowie ggf. andererseits spezielle Fördermaßnahmen im Bereich der Wärmeinfrastruktur (die bei gegebener Anlegbarkeit der KWK-Wärme beim Kunden ebenfalls eine Erhöhung der Wärmeerlöse frei Kraftwerk bewirken) berücksichtigt.

---

<sup>33</sup> Bis 2012 in Form des KWK-Bonus. Seit der EEG-Novelle im Jahr 2012 ist die Abwärmenutzung von Biogas-Anlagen verpflichtend. Damit ist die KWK-Förderung Teil der Grundvergütung.

Darüber hinaus werden auch hier **flankierende Instrumente** berücksichtigt, aber keiner spezifischen Analyse unterzogen:

Instrumente, die im Rahmen der Modellierung nicht spezifisch abgebildet werden können aber als wichtige übergreifende Instrumente im Abschlussbericht genannt werden sind Netzausbau, Speicher und Lastmanagement sowie Smart Metering zur Lastverschiebung.

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 bei der Quantifizierung der Maßnahmenwirkungen berücksichtigt<sup>34</sup>.

### 3.8.3 Methodik

Grundlage der Modellierung im Rahmen dieses Projektes ist die iterative Anwendung des Kraftwerksinvestitionsmodell ELIAS und des Kraftwerkseinsatzmodells PowerFlex.

Das Kraftwerksinvestitionsmodell **ELIAS** (Electricity Investment Analysis) ist ein Bottom-up-Simulationsmodell des Öko-Instituts zur Abbildung von Investitionen im Kraftwerkspark. Auf Grundlage der Stilllegung von Kraftwerken und der Entwicklung der Stromnachfrage wird der Investitionsbedarf an neuen Kraftwerken bestimmt.

Das Entscheidungskalkül für den Kraftwerkszubau basiert auf perfekter Voraussicht (perfect foresight) eines idealtypischen Investors, der über Informationen über alle Kosten und Erlöse über den Planungshorizont verfügt. Die Investition ist kostengetrieben, d. h. je geringer die Vollkosten der Stromerzeugung, desto größer ist der Anteil des jeweiligen Kraftwerkstyps am gesamten Zubau. Eine Bandbreite an Kraftwerkstypen wird zugebaut als Funktion des Abstandes der jeweiligen Vollkosten von den Vollkosten der kostengünstigsten Kraftwerksoption<sup>35</sup>. Bei der Investitionsrechnung werden neben Investitions- und Betriebskosten des Kraftwerks zusätzlich Kosten und Erlöse betrachtet, die sich aus politischen Interventionen (wie beispielsweise dem Emissionshandel) ergeben. Dabei sind eine Vielzahl von Politikmaßnahmen und Ausgestaltungsoptionen einstellbar. Bei ELIAS handelt es sich um ein Vintage-Capital-Modell. Es wird die Altersstruktur des Kraftwerksparks mit unterschiedlichen Kraftwerks-Jahrgängen (Vintages) dargestellt. Durch die Abbildung des Ausscheidens alter Kraftwerks-Jahrgänge aus dem System und deren Ersatz durch neue Technologien (Stock-Exchange-Ansatz) kann die zeitliche Entwicklung des Kraftwerksparks verfolgt werden. Die Stilllegung erfolgt nach Ende der technischen

---

<sup>34</sup> Die Stromnachfrage wird in den Endverbrauchssektoren ermittelt und an die Strommarktmodellierung übergeben. Gleichmaßen erfolgt der Zubau erneuerbarer Energien über Maßnahmen, die in Abschnitt 2.8 festgelegt werden. Die Ermittlung der Einlastung aller Kraftwerke (einschließlich EE-Kraftwerke) wird jedoch im Rahmen der Strommarktmodellierung vorgenommen und es werden entsprechende Effekte quantifiziert.

<sup>35</sup> Dabei wird unterstellt, dass Kraftwerksinvestitionen grundsätzlich wirtschaftlich darstellbar sind. Eine Untersuchung konkreter Ausgestaltungen des hierfür notwendigen Marktdesigns wird im Rahmen dieses Projektes nicht vorgenommen.

Lebensdauer<sup>36</sup> bzw. im Fall der Kernkraftwerke, nach Vorgabe der gesetzlichen Stilllegungsjahre. ELIAS verwendet die Ergebnisse des Kraftwerkseinsatzmodells PowerFlex beim Investitionskalkül. Gleichmaßen dient die in ELIAS ermittelte Entwicklung des Kraftwerksparks als Input für PowerFlex.

Das am Öko-Institut entwickelte Strommarktmodell **PowerFlex** ist ein Fundamentalmodell, welches thermische Kraftwerke, Stromeinspeisung aus erneuerbaren Energien, Pumpspeicherkraftwerke und flexible Stromverbraucher kostenminimal einsetzt, um die Stromnachfrage und den Bedarf an Regelleistung zu decken. Das Modell PowerFlex ist sowohl als lineares als auch als gemischt-ganzzahliges Optimierungsproblem formuliert und wird gegenwärtig zur ex-ante Szenarienanalyse von Ausbaupfaden für erneuerbare Energien, Elektromobilität und Smart Grids und zur Ex-Post-Bewertung von Politikmaßnahmen, wie z. B. dem europäischen Emissionshandel, eingesetzt.

Die einzelnen Kraftwerke werden im Modell detailliert mit Hilfe technischer und ökonomischer Parameter abgebildet. Kraftwerke mit einer installierten elektrischen Leistung größer 100 MW werden blockscharf und mit einem individuellen Wirkungsgrad erfasst. Kleinere thermische Stromerzeugungsanlagen werden in kraftwerkstyp- und baujahrspezifischen Gruppen zusammengefasst und mit Hilfe von typspezifischen Parametern charakterisiert. Diese Anlagen können ihre Leistung ohne Berücksichtigung von Lastgradienten ändern.

Biomassekraftwerke, die Biogas, Holz oder Pflanzenöl einsetzen, werden als Aggregate im Modell abgebildet und sind somit Teil des thermischen Kraftwerksparks. Ihr Einsatz wird als flexibel angenommen<sup>37</sup>. Das zur Verfügung stehende Stromangebot aus Laufwasser, Wind offshore, Wind onshore und Photovoltaik wird mit Hilfe generischer Einspeiseprofile in stündlicher Auflösung vorgegeben. Die tatsächlich eingespeiste Menge an Wasser-, Wind- und Photovoltaikstrom wird modellendogen bestimmt, so dass es bei negativer Residuallast und unzureichender Speicherkapazität zu inländisch nicht nutzbaren Überschüssen kommen kann.

Darüber hinaus werden im Modell Pumpspeicherkraftwerke mit Hilfe der installierten elektrischen Leistung und der Speicherkapazität vorgegeben. Ihr Einsatz (Stromnachfrage, Stromerzeugung) ist dabei Ergebnis der Modellierung.

Das Erzeugungsprofil für Strom aus Kraft-Wärme-Kopplung setzt sich aus einem typischen Fernwärmeprofil und einer angenommenen Gleichverteilung für industrielle KWK-Anlagen zusammen. Für Must-run-Kraftwerke, wie z. B. Gichtgas- oder Müllverbrennungsanlagen, wird eine gleichverteilte Stromeinspeisung unterstellt. Die Wärme, die von Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen zu decken ist, kann auch von Heizkesseln oder - je nach Szenario - aus Wärmespeichern bereitgestellt werden.

Die Stromnachfrage wird analog zur fluktuierenden Stromeinspeisung aus erneuerbaren Energien in stündlicher Auflösung vorgegeben.

Auf Basis einer vollständigen Voraussicht für alle 8760 Stunden des Jahres wird dann im Rahmen einer linearen Optimierung der kostenminimale Einsatz von thermischen Kraftwerken,

---

<sup>36</sup> Es wird angenommen, dass hierdurch die Anforderungen der 13. BImSchV sowie der europäischen IE-Richtlinie 2010/75/EU abgebildet werden. Eine blockscharfe Abbildung des Stilllegungszeitpunkts wird im Rahmen der Modellierung nicht vorgenommen.

<sup>37</sup> Hierbei wird angenommen, dass Betrieb einer Biomasse-Anlage im Verlauf des Szenarienhorizont eine wirtschaftliche attraktive Option darstellt.

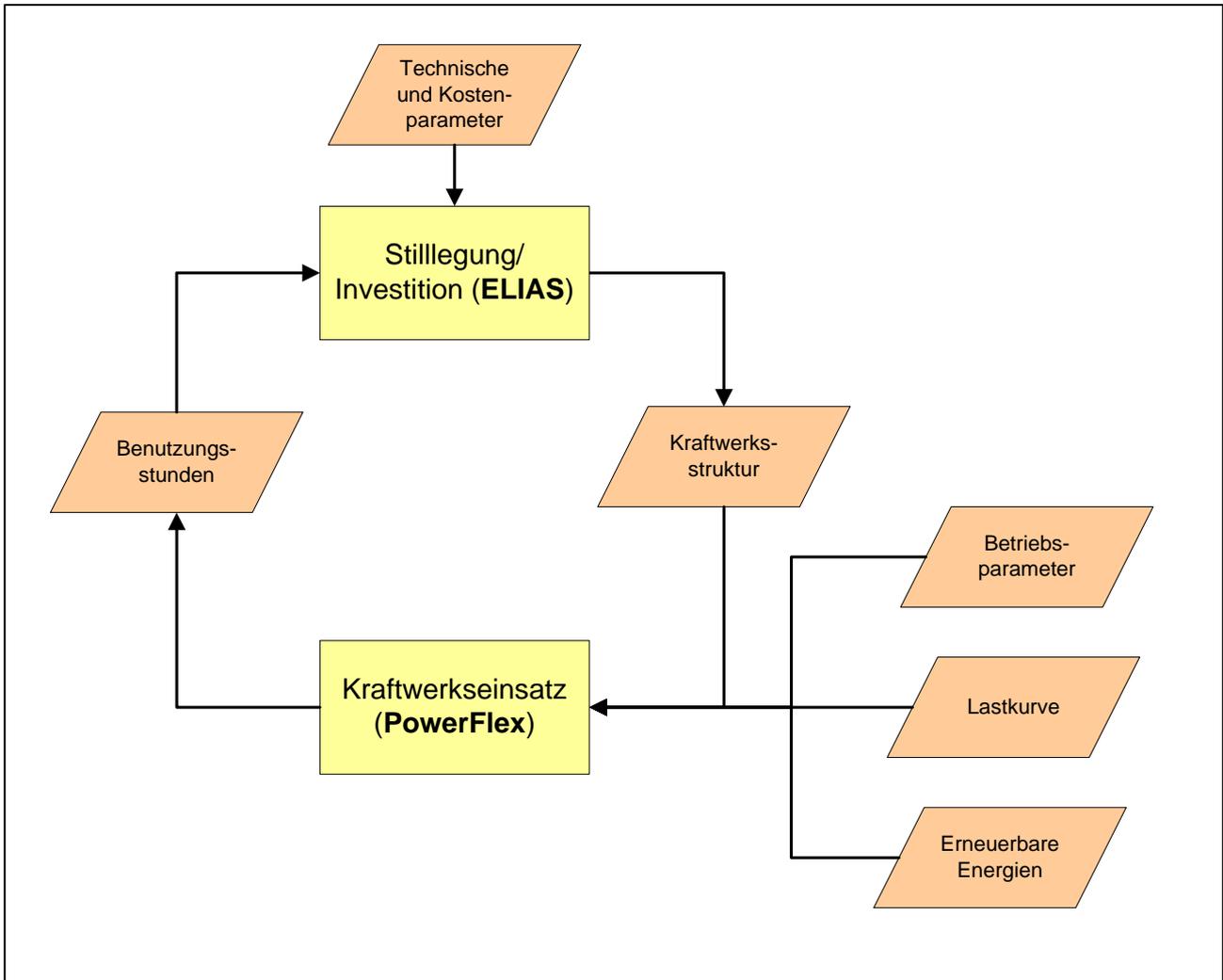
Stromeinspeisung aus erneuerbaren Energien und Pumpspeicherkraftwerken unter Bercksichtigung technischer und energiewirtschaftlicher Nebenbedingungen bestimmt.

Das Optimierungsproblem ist in der Modellierungssprache GAMS implementiert und wird mit Hilfe des Simplex-Algorithmus gelst. Es besteht bei einem ganzjhrigen Optimierungszeitraum (8760 Zeitschritte) aus ca. 2,5 Mio. Variablen.

Als Modellergebnis werden basierend auf dem stundenscharfen Kraftwerkseinsatz die Benutzungsstunden pro Kraftwerk ausgegeben und an ELIAS ubergeben. Des Weiteren wird die Menge überschüssiger fluktuierender Stromerzeugung sowie die gespeicherte KWK-Wärmemenge und die Wärmeezeugung in Kesseln ubergeben.

Bei der **Iteration zwischen ELIAS und PowerFlex** (Abb. 3-13) werden Investitionsentscheidungen in neue Kraftwerke aus der Perspektive eines idealtypischen Investors auf Basis der Vollkosten der Stromerzeugung als wichtigste Entscheidungsvariable getroffen (ELIAS). Der Kraftwerkseinsatz wird durch Minimierung der gesamten Stromerzeugungskosten bestimmt (PowerFlex). Der Investitionsbedarf in neue Kraftwerke wird durch die Stilllegung von Kraftwerken sowie die Entwicklung der Stromnachfrage bestimmt (ELIAS). Die Struktur des Kraftwerksparks wird an das Kraftwerkseinsatzmodell PowerFlex ubergeben, das den Einsatz der Kraftwerke einschließlic der entsprechenden Benutzungsstunden bestimmt. Die Benutzungsstunden werden an ELIAS zurückspeist als ein wesentlicher Input für die Investitionsentscheidung.

Abb. 3-13: Iteration zwischen Kraftwerksstilllegung und -investition (ELIAS) und Kraftwerkseinsatz (PowerFlex)



Quelle: Eigene Darstellung

Iterationen zwischen ELIAS und PowerFlex werden solange durchgeführt, bis die Ergebnisse in Bezug auf Investition und Kraftwerkseinsatz in beiden Modellen stabil sind. Dabei gibt es zwei wesentliche Wechselwirkungen zwischen Kraftwerksstilllegung, -investition und -betrieb:

- **Stilllegung/Investitionsbedarf:** Die in PowerFlex ermittelten Benutzungsstunden bestimmen die durch Stilllegung wegfallende Stromerzeugung. Zusammen mit der Entwicklung der Stromnachfrage ergibt sich der Investitionsbedarf in neue Kraftwerke. Die gesamte neue zugebaute Kraftwerksleistung beeinflusst wiederum den Kraftwerksbetrieb. Damit gibt es eine Wechselwirkung zwischen Kraftwerksbetrieb und der Höhe der zugebauten Kraftwerksleistung.
- **Investitionsentscheidung:** Die Kraftwerkstechnologien, die zugebaut werden, hängen von den Vollkosten der Stromerzeugung ab. Eine wesentliche Einflussgröße für diese Vollkosten ist die Anzahl der Benutzungsstunden, auf Grundlage derer die Investition berechnet wird. Die zugebauten Kraftwerksarten beeinflussen wiederum die Einsatzreihenfolge der Kraftwerke und damit den Kraftwerkseinsatz. Damit gibt es eine Wechselwirkung zwischen den zugebauten Kraftwerkstechnologien und dem Kraftwerkseinsatz.

### 3.8.4 Annahmen und Parameter

Die in Abschnitt 3.8.2 aufgeführten, für die fossile Stromerzeugung relevanten Politikmaßnahmen, haben Auswirkungen auf Kraftwerksinvestitionen und Kraftwerksbetrieb. Die in den Modellen implementierten Parameter werden im Folgenden dargestellt.

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 dritte Phase des Emissionshandelssystems (ab 2013) werden die Emissionsberechtigungen für die Stromproduktion vollständig auktioniert. Für KWK-Anlagen werden zusätzlich kostenlos Emissionsberechtigungen für die Wärmeproduktion in Höhe von rund 225 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>th</sub> (62,3 EUA/TJ) zugeteilt. Der Anteil der kostenlosen Zuteilung reduziert sich von 80 % im Jahr 2013 auf 0 % im Jahr 2027 (EC 2011). Darüber hinaus wird jährlich ein linearer Kürzungsfaktor von 1,74 % angewendet. Basierend auf der Wärmeeinspeisung der KWK-Anlagen berechnet sich daraus der Auktionierungsanteil für KWK-Anlagen. Je nach Anlagenkonfiguration beträgt der resultierende Anteil 60 % bis 80 % im Jahr 2013 und erhöht sich schrittweise bis zur Vollauktionierung (100 %) im Jahr 2027. 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 den in PowerFlex ermittelten Benutzungsstunden ergibt. Damit kann ermittelt werden, welcher Anteil der tatsächlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Kraftwerke auf dem Zertifikatemarkt erworben werden muss.

Für die Berücksichtigung *ambitionierter Klimaschutzpolitik* im Rahmen des EWS wird davon ausgegangen, dass die CO<sub>2</sub>-Zertifikatspreise stärker steigen werden und 40 €/EUA im Jahre 2030 erreicht werden (Abschnitt 2.3).

Die *Besteuerung von Erdgas* wird im Rahmen des APS abgeschafft, was ebenfalls für das EWS 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>u</sub>).

Die *Förderung für neue KWK-Anlagen* im APS umfasst gemäß dem novellierten KWKG 2011 kleine (z. B. BHKW) und große KWK-Anlagen bei spätester Inbetriebnahme im Jahr 2020. Kleine BHKW bis 50 kW installierter Leistung erhalten dabei einen Zuschlagsatz von 51,1 €/MWh, größere BHKW bis 2 MW 21 €/MWh für 30.000 Betriebsstunden. Für große KWK-Anlagen gilt ein Fördersatz von 15 €/MWh ebenfalls für 30.000 Betriebsstunden. Im Rahmen des EWS wird angenommen, dass die Förderung von neuen (großen und kleinen) KWK-Anlagen über das Jahr 2020 hinaus verlängert wird sowie die Förderung auf 40.000 Betriebsstunden erweitert wird. Für große KWK-Anlagen wird auf Basis dieser Fördersätze sowie in PowerFlex ermittelter Einsatzzeiten der Barwert der Förderung ermittelt, der dann in Investitionsrechnung einfließt. Für BHKW wird im APS angenommen, dass sich das Absatzvolumen fossiler BHKW im Jahr 2010 (269 MW) (Gores, Harthan 2011) bis zum Jahr 2020 fortsetzt. Im EWS wird angenommen, dass sich der jährliche Absatz aufgrund der besseren Förderbedingungen ab 2013 auf 350 MW erhöht und sich außerdem bis 2030 fortsetzt. Der Einsatz und damit die tatsächliche Stromerzeugung der BHKW werden im Kraftwerkseinsatzmodell PowerFlex ermittelt.

Des Weiteren wird im EWS eine *Förderung von Wärmespeichern* (250 € je Kubikmeter Wasseräquivalent) vorgesehen, die eine (zeitweise) stromgeführte Fahrweise von KWK-Anlagen ermög-

licht und damit einen Beitrag zur Integration fluktuierender erneuerbarer Energien darstellt. In der Modellierung wird angenommen, dass KWK-Anlagen<sup>38</sup> ab 2015 schrittweise mit Wärmespeichern ausgerüstet werden. Die Veränderung des Kraftwerksbetriebs von KWK-Anlagen bei möglicher Speichernutzung wird dabei mit dem Kraftwerkseinsatzmodell PowerFlex ermittelt.

Für die Bewertung von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen ist des Weiteren neben den Brennstoffpreisen (Abschnitt 2.2.3) 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 Wärmeherzeugung 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). Im EWS wird des Weiteren angenommen, dass für die ungekoppelte Wärmeherzeugung CO<sub>2</sub>-Kosten entsprechend des eingesetzten Brennstoffs (Annahme Erdgas) und des jeweiligen CO<sub>2</sub>-Preises anfallen. Damit erhöhen sich die anlegbaren Wärmeerlöse für KWK-Anlagen entsprechend.

Mit dem APS wird die *Vergütung für vermiedene Netznutzung* für dezentrale Erzeuger eingeführt. Diese Vergütung wird auch im EWS zugrunde gelegt. 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>.

Im Rahmen der Förderung hocheffizienter Kraftwerke wird angenommen, dass Neubaukraftwerke, die bis 2020 in Betrieb gehen, eine Förderprämie von 120 €/kW erhalten. Das gesamte Fördervolumen ist dabei auf 600 Mio. € begrenzt, was einer maximalen Förderung von 5 GW entspricht.

Die Stilllegung der Kernkraftwerke entspricht den Vorgaben des AtG (Tab. 3-113).

### 3.8.5 Ergebnisse der Projektionen

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Projektionen für das APS und das EWS 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 APS und OMS (Wirkung des APS) beziehungsweise EWS und APS (Wirkung des EWS).

Die *Wirkung einzelner Maßnahmen* eines jeweiligen Szenarios wird in der Modellierung durch Einschaltung jeweils nur einer Maßnahme im Modell ELIAS sowie durch Einlastung der entsprechenden Ergebnisse in PowerFlex berechnet. So werden beispielsweise für die Ermittlung der Maßnahmenwirkung eines erhöhten CO<sub>2</sub>-Preises im EWS prinzipiell die Einstellungen des APS verwendet, jedoch der CO<sub>2</sub>-Preis, wie im EWS definiert, erhöht (alle anderen EWS-Maßnahmen bleiben ausgeschaltet). Die Differenz zwischen diesen beiden Rechnungsläufen

---

<sup>38</sup> Annahme, dass dies für alle KWK-Anlagen (einschließlich BHKW) gilt.

(APS sowie erhöhter CO<sub>2</sub>-Preis gegenüber APS) in Bezug auf die Treibhausgas-Emissionen entspricht der Wirkung dieser Maßnahme.

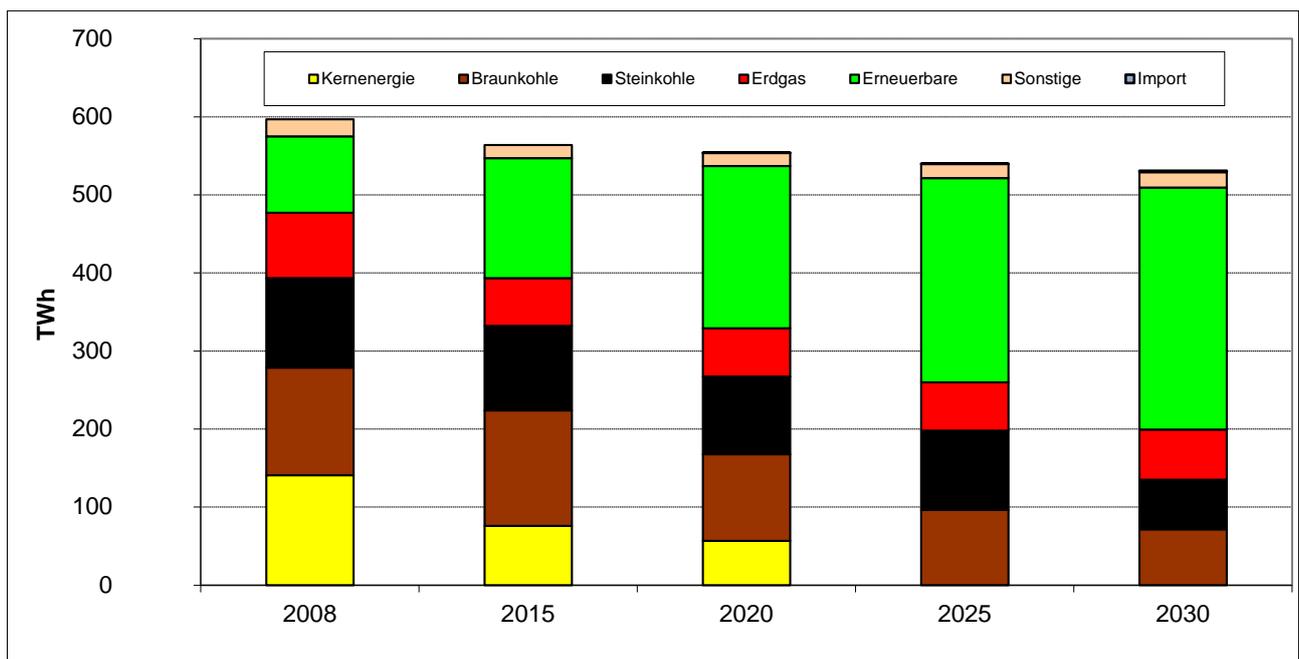
Die Summe der Wirkung aller Einzelmaßnahmen wird in der vorletzten Zeile der jeweiligen Maßnahmentabelle dargestellt. In der letzten Zeile wird der um Überlagerungseffekte bereinigte Gesamteffekt aller Maßnahmen aufgeführt.

Die Bewertung der Auswirkungen der Maßnahmen bezieht sich 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 Wärmeerzeugung durch aus KWK-Anlagen ausgekoppelte Fernwärme oder durch sich verändernde Strompreise werden in den Endenergiesektoren betrachtet.

**Aktuelle-Politik-Szenario**

Abb. 3-14 und Tab. 3-117 stellen die Struktur der Stromerzeugung für das APS bis 2030 dar.

Abb. 3-14: Entwicklung der Nettostromerzeugung im Aktuelle-Politik-Szenario



Quelle: Berechnungen Öko-Institut

Tab. 3-117: Entwicklung der Nettostromerzeugung im Aktuelle-Politik-Szenario

|                                   | 2008       | 2015       | 2020<br>TWh | 2025       | 2030       |
|-----------------------------------|------------|------------|-------------|------------|------------|
| Kernenergie                       | 141        | 76         | 57          | 0          | 0          |
| Braunkohle                        | 138        | 148        | 111         | 96         | 71         |
| davon neue Kondensations-KW       | 0          | 22         | 21          | 20         | 18         |
| Steinkohle                        | 114        | 108        | 100         | 102        | 64         |
| davon neue Kondensations-KW       | 0          | 37         | 34          | 35         | 30         |
| Erdgas                            | 84         | 61         | 62          | 62         | 64         |
| davon neue Kondensations-KW       | 0          | 1          | 1           | 4          | 6          |
| davon neue KWK                    | 0          | 9          | 12          | 12         | 13         |
| Erneuerbare                       | 98         | 154        | 208         | 262        | 310        |
| Sonstige                          | 22         | 17         | 17          | 18         | 20         |
| Import                            | 0          | 0          | 0           | 0          | 2          |
| <b>Summe</b>                      | <b>597</b> | <b>564</b> | <b>554</b>  | <b>540</b> | <b>531</b> |
| nachrichtlich: KWK-Stromerzeugung | 86         | 84         | 88          | 89         | 88         |
| davon fossile KWK                 | 82         | 68         | 67          | 63         | 60         |
| davon biogene KWK                 | 4          | 16         | 21          | 26         | 28         |

Quelle: Berechnungen Öko-Institut

Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien nimmt von 98 TWh im Jahr 2008 auf 310 TWh im Jahr 2030 zu. Die Stromerzeugung in Kernkraftwerken sinkt entsprechend der Vorgaben des Atomgesetzes (AtG) im Rahmen des Atomausstiegs von 141 TWh auf 0 TWh im Jahr 2030<sup>39</sup>. Die Braunkohleverstromung nimmt mit 71 TWh im Jahr 2030 um 67 TWh gegenüber 2008 ab. Dies bedeutet unter Einbezug der Stilllegung alter Braunkohle-Kraftwerke eine Stromerzeugung von 18 TWh in neuen Braunkohlekraftwerken. Die Stromerzeugung in Steinkohlekraftwerken nimmt von 114 TWh auf 64 TWh ab, wobei der Ersatzbedarf durch neue Kondensationskraftwerke gedeckt wird (30 TWh). Die Erdgasverstromung nimmt von 84 TWh auf 64 TWh ab, wobei mehr als zwei Drittel (13 TWh) der neuen Erdgas-Kraftwerke als KWK-Anlagen gebaut wird. Die fossile KWK-Stromerzeugung nimmt von 82 TWh (2008) auf 60 TWh (2030) ab. Die KWK-Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien steigt von rund 4 TWh (2008) auf 28 TWh im Jahr 2030. Durch die sinkende Stromnachfrage steigt der KWK-Anteil von rund 14% (2008) auf rund 17% (2030).

Es muss darauf hingewiesen werden, dass der Zubau neuer Kraftwerke weitgehend durch die sich bereits heute im Bau befindlichen Kraftwerke (Tab. 3-116) sowie durch den Zubau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bestimmt wird. Dementsprechend entfalten Politikmaßnahmen im Bereich der fossilen Großkraftwerke ihre Wirkung im Wesentlichen im Bereich der Veränderung der Erzeugung (durch Abnahme der Stromnachfrage sowie durch Veränderung der Einlastung). Investitionseffekte im Szenarienhorizont sind vor allem im Bereich der erneuerbaren Energien sowie der Blockheizkraftwerke relevant.

Tab. 3-118 zeigt die Zusammenfassung der Wirkung der bislang ergriffenen Maßnahmen, differenziert nach einzelnen Maßnahmen. 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 Nachfragesektoren für die KWK-Wärme berücksichtigt (Haushalte, GHD, Industrie).

<sup>39</sup> Das letzte Kernkraftwerk soll laut AtG im Jahr 2022 vom Netz gehen.

**Tab. 3-118: Zusammenfassung der Wirkung bisheriger Maßnahmen (Aktuelle-Politik-Szenario)**

| Maßnahme/<br>Umsetzung/<br>Institution                                     | Typ | Beschreibung/Ziele<br>(Wirkungsbereich)                                  | Umsetzungs-<br>stand<br>(Wirkungs-<br>beginn) | Direkte Emissionsminderungseffekte |      |      |      |
|--|-----|--|---|------------------------------------|------|------|------|
|  |     |  |   | 2015                               | 2020 | 2025 | 2030 |
|  |     |  |   | Mio. t CO <sub>2</sub> -Äqu.       |      |      |      |
| Einführung des Emissionshandels  | E   | Kosteneffektive CO <sub>2</sub> -Minderung                               | 2005  | 3                                  | 2    | 0    | 4    |
| Abschaffung der Erdgassteuer   | F   | Erhöhung der Attraktivität der Erdgasverstromung                         | 2006  | 0                                  | 0    | 0    | 0    |
| Entgelt für vermiedene Netznutzung   | O   | Ökonomische Verbesserung dezentraler Einspeiser (v.a. KWK)               | 2001  | 0                                  | 0    | 0    | 1    |
| KWKG   | E   | Vergütung von KWK-Stromerzeugung (große Anlagen)                         | 2013  | 0                                  | 0    | 0    | 1    |
|  | E   | Vergütung von KWK-Stromerzeugung (BHKW)                                  | 2013  | 1                                  | 1    | 2    | 7    |
| Förderung hocheffizienter Kraftwerke                                       | E   | Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von Neubaukraftwerken                | 2013  | 0                                  | 0    | 0    | 0    |
| Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)  | R,E | Mindestvergütung für die Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien | 2000  | 6                                  | 11   | 15   | 23   |
| Stromeinsparung  | O   | Verringerung des Stromverbrauchs gegenüber OMS                           | 2008  | 8                                  | 12   | 19   | 26   |
| <b>Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen</b>                             |     |  |   | 18                                 | 27   | 37   | 62   |
| <b>Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen (ohne Überlagerungseffekte)</b> |     |  |   | 20                                 | 32   | 35   | 41   |

Quelle: Berechnungen Öko-Institut

Die Darstellung zeigt, dass im Jahr 2030 49 Mio. t CO<sub>2</sub> der insgesamt eingesparten 62 Mio. t CO<sub>2</sub> (Summe aller Maßnahmen) auf die geringere fossile Stromerzeugung im APS im Vergleich zum Ohne-Maßnahmen-Szenario (OMS) zurückzuführen ist. Neben einer Reduktion der Stromnachfrage gegenüber dem OMS (26 Mio. t CO<sub>2</sub>) ist hier insbesondere der größere Zubau erneuerbarer Energien ausschlaggebend (23 Mio. t CO<sub>2</sub>).

Die Einführung des Emissionshandels schlägt mit einer Emissionsminderung von 4 Mio. t CO<sub>2</sub> gegenüber dem OMS im Jahr 2030 zu Buche. Die vergleichsweise geringe Wirkung in den Modellergebnissen liegt darin begründet, dass sich die Einsatz-Reihenfolge der Kraftwerke in der Merit Order erst bei sehr hohen CO<sub>2</sub>-Preisen verschiebt. Gleichmaßen sind Braunkohlekraftwerke aufgrund der geringen Brennstoffpreise trotz erhöhter CO<sub>2</sub>-Kosten die attraktivste Investitionsoption. Der eigentliche Nutzen des Emissionshandels ergibt sich in der Beschränkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Gesamtsystem (d.h. für alle Emissionshandelssektoren) und kann so in der hier gewählten Modellierungsvariante nicht spezifisch ausgewiesen werden. Darüber hinaus gibt es indirekte, durch den Emissionshandel induzierte Effekte z.B. Nachfrageänderungen in Deutschland durch die Einpreisung der CO<sub>2</sub>-Kosten den dadurch steigenden Strompreis. Diese werden jedoch den nachfrageseitigen Minderungen zugeordnet und finden sich in Tab. 3-118 unter Stromeinsparung. Sie lassen sich nicht mehr von anderen nachfragesenkenden Effekten trennen und werden nicht in der oben stehenden Zeile zur Einführung des Emissionshandels ausgewiesen.

Trotz eines Zubaus insbesondere von Blockheizkraftwerken stellen die direkten Effekte des KWKG mit insgesamt 8 Mio. t CO<sub>2</sub> im Jahr 2030 (davon 7 Mio. t CO<sub>2</sub> durch BHKW) nur einen Teil der Effekte der KWK-Förderung dar. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der wesentliche Nutzen der KWK (Substitution ungekoppelter Wärmeerzeugung) nicht im Stromsektor, sondern in den Nachfragesektoren bilanziert wird.

Die Einführung des Entgelts für vermiedene Netznutzung sowie die Abschaffung der Erdgassteuer haben im Vergleich zu den anderen Maßnahmen einen geringen bzw. zu vernachlässigenden Effekt. Die Förderung hocheffizienter Kraftwerke erhöht zwar die Wirtschaftlichkeit von Kraftwerksinvestitionen, führt jedoch ebenfalls nicht zu Verschiebungen in der Kraftwerksstruktur und damit zu keinen zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Einsparungen.

Werden die Szenarienergebnisse um die Überlagerungseffekte der Einzelmaßnahmen bereinigt<sup>40</sup>, so ergeben sich 41 Mio. t CO<sub>2</sub> als Gesamtreduktion für das Maßnahmenpaket des APS im Jahr 2030 (Tab. 3-118).

### **Energiewende-Szenario**

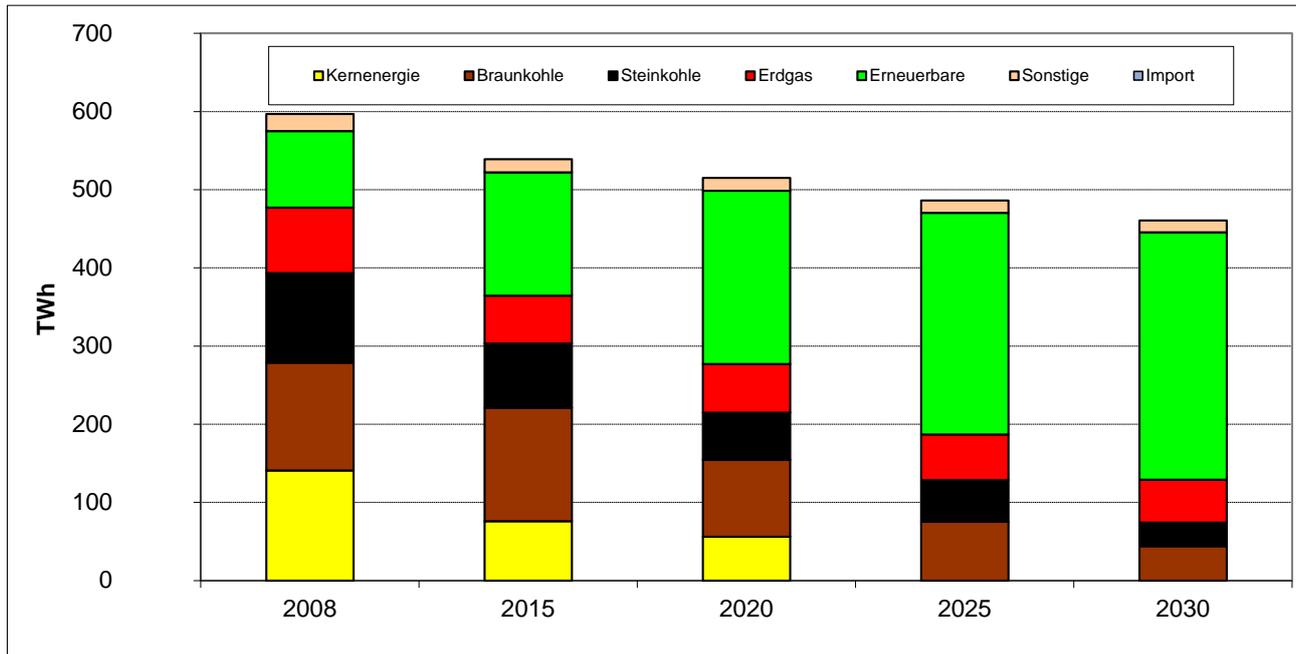
Wie für das APS umfasst die Bewertung der Maßnahmen des EWS ausschließlich direkte Effekte. Abb. 3-13 und Tab. 3-119 stellen die Berechnungsergebnisse für das EWS dar.

Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien erhöht sich von 98 TWh (2008) auf 316 TWh (2030). Darüber hinaus sinkt die Stromnachfrage deutlich von 597 TWh (2008) auf 461 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 (Tab. 3-116) sowie durch Erdgas-BHKW gedeckt. Dementsprechend entfalten Politikmaßnahmen im Bereich der fossilen Großkraftwerke ihre Wirkung im Wesentlichen im Bereich der Veränderung der Erzeugung (durch Abnahme der Stromnachfrage sowie durch Veränderung der Einlastung). Investitionseffekte im Szenarienhorizont sind vor allem im Bereich der erneuerbaren Energien sowie der Blockheizkraftwerke relevant.

---

<sup>40</sup> Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass der Gesamteffekt alle Maßnahmen sowohl größer (2015-2020) als auch kleiner (2025-2030) sein kann als die Summe der Effekte der Einzelmaßnahmen. Dies liegt daran, dass sich einzelne Maßnahmen zum einen (teilweise) gegenseitig kompensieren können (dann ist der Gesamteffekt geringer als die Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen), zum anderen aber auch eine Verstärkung der Effekte möglich ist (Gesamteffekt aller Maßnahmen größer als die Summe der Effekte der Einzelmaßnahmen). So führen beispielsweise die Förderung erneuerbarer Energie sowie die Stromeinsparung in frühen Szenariojahren (2015-2020) aufgrund von Merit-Order-Effekte dazu, dass bei Berücksichtigung beider Maßnahmen gemeinsam Kraftwerke mit einer größeren CO<sub>2</sub>-Intensität (Kohle) verdrängt werden als wenn die Maßnahmen einzeln wirken. Darüber hinaus bewirkt der CO<sub>2</sub>-Preis (Emissionshandel), dass CO<sub>2</sub>-intensive Kraftwerke (Kohle) in der Merit Order in Richtung Grenzkraftwerk verschoben werden, so dass sich in Kombination mit anderen Maßnahmen weitere Synergieeffekte ergeben. In späteren Szenariojahren (2025-2030) sinkt die Residuallast durch die Einspeisung erneuerbarer Energien und die Stromeinsparung, so dass vergleichsweise wenig fossile Stromerzeugung verbleibt. Damit wirken verschiedene Politikmaßnahmen (z.B. erneuerbare Energien, Stromeinsparung und Emissionshandel) gleichermaßen auf eine geringe fossile Stromerzeugung, so dass sich bei Zusammenwirken aller Maßnahmen Überlagerungseffekte ergeben, weshalb der Gesamteffekt aller Maßnahmen geringer als die Summe der Effekte der Einzelmaßnahmen ist.

Abb. 3-15: Entwicklung der Nettostromerzeugung im Energiewende-Szenario



Quelle: Berechnungen Öko-Institut

Tab. 3-119: Entwicklung der Nettostromerzeugung im Energiewende-Szenario

|                                   | 2008       | 2015       | 2020<br>TWh | 2025       | 2030       |
|-----------------------------------|------------|------------|-------------|------------|------------|
| Kernenergie                       | 141        | 76         | 56          | 0          | 0          |
| Braunkohle                        | 138        | 145        | 99          | 75         | 44         |
| davon neue Kondensations-KW       | 0          | 22         | 20          | 16         | 11         |
| Steinkohle                        | 114        | 82         | 60          | 53         | 30         |
| davon neue Kondensations-KW       | 0          | 33         | 25          | 21         | 13         |
| Erdgas                            | 84         | 61         | 62          | 58         | 55         |
| davon neue Kondensations-KW       | 0          | 0          | 0           | 1          | 1          |
| davon neue KWK                    | 0          | 10         | 16          | 22         | 29         |
| Erneuerbare                       | 98         | 158        | 221         | 283        | 316        |
| Sonstige                          | 22         | 17         | 17          | 16         | 15         |
| Import                            | 0          | 0          | 0           | 0          | 0          |
| <b>Summe</b>                      | <b>597</b> | <b>539</b> | <b>515</b>  | <b>486</b> | <b>461</b> |
| nachrichtlich: KWK-Stromerzeugung | 86         | 83         | 88          | 88         | 82         |
| davon fossile KWK                 | 82         | 67         | 67          | 63         | 60         |
| davon biogene KWK                 | 4          | 16         | 21          | 25         | 23         |

Quelle: Berechnungen Öko-Institut

Wie im APS wird davon ausgegangen, dass die Beschlüsse des AtG umgesetzt werden und der Atomausstieg wie geplant vollzogen wird. Die Stromerzeugung in Kernkraftwerken läuft bis zum Jahr 2030 vollständig aus. Der Zubau von Braunkohle-, Steinkohle-, und Erdgas-GuD-Kondensationskraftwerken entspricht im Wesentlichen den sich bereits in Planung oder Bau befindlichen Kraftwerken (Tab. 3-116). Die Stromproduktion von neuen Braunkohlekraftwerken nimmt im Szenarienhorizont jedoch aufgrund sinkender Benutzungsstunden ab (11 TWh im Jahr 2030). Insgesamt sinkt die Braunkohleverstromung aufgrund der Außerbetriebnahme alter Kraftwerke sowie aufgrund kürzerer Betriebszeiten von 138 TWh (2008) auf 44 TWh (2030). Der

Neubau von Steinkohlekraftwerken wird ebenfalls im Wesentlichen durch bereits sich im Bau befindliche Kraftwerke bestimmt (13 TWh im Jahr 2030), wobei hier ebenfalls im Szenarienhorizont die Auslastung und dementsprechend die Stromerzeugung sinkt. Die gesamte Stromerzeugung in Steinkohlekraftwerken sinkt von 114 TWh auf 30 TWh. Die Erdgasverstromung nimmt von 84 TWh auf 55 TWh ab, wobei der Neubau von Großkraftwerken im Wesentlichen bis zum Jahr 2015 erfolgt. Im gesamten Szenarienhorizont kommt es zu einem relevanten Zubau von Erdgas-BHKW, so dass durch diese im Vergleich zum APS 16 TWh mehr erzeugt wird (siehe Tab. 3-120). Durch den Rückgang bei den großen Kohle-KWK-Anlagen nimmt jedoch die fossile KWK-Stromerzeugung insgesamt von 82 TWh auf 60 TWh ab. Die KWK-Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien steigt von rund 4 TWh (2008) auf 23 TWh (2030). Damit erreicht die KWK-Stromerzeugung (82 TWh) im Jahr 2030 einen Anteil von rund 18% und liegt damit insbesondere aufgrund der geringeren Stromnachfrage über dem Anteil im Jahr 2008 (14%).

Tab. 3-120: Wirkung der Maßnahmen zur Stromerzeugung im Kraftwerkspark (Differenz EWS-APS)

|                                   | 2008     | 2015       | 2020       | 2025       | 2030       |
|-----------------------------------|----------|------------|------------|------------|------------|
|                                   |          |            | TWh        |            |            |
| Kernenergie                       | 0        | 0          | -1         | 0          | 0          |
| Braunkohle                        | 0        | -3         | -12        | -21        | -28        |
| davon neue Kondensations-KW       | 0        | 0          | -2         | -4         | -7         |
| Steinkohle                        | 0        | -26        | -39        | -48        | -34        |
| davon neue Kondensations-KW       | 0        | -4         | -9         | -14        | -17        |
| davon neue KWK                    | 0        | 0          | 0          | 0          | 0          |
| Erdgas                            | 0        | 0          | 0          | -4         | -9         |
| davon neue Kondensations-KW       | 0        | -1         | -1         | -3         | -5         |
| davon neue KWK                    | 0        | 1          | 3          | 10         | 16         |
| Erneuerbare                       | 0        | 4          | 14         | 22         | 6          |
| Sonstige                          | 0        | 0          | 0          | -2         | -4         |
| Import                            | 0        | 0          | 0          | 0          | -2         |
| <b>Summe</b>                      | <b>0</b> | <b>-25</b> | <b>-39</b> | <b>-54</b> | <b>-70</b> |
| nachrichtlich: KWK-Stromerzeugung | 0        | -1         | -1         | -1         | -5         |
| davon fossile KWK                 | 0        | -1         | -1         | 0          | 0          |
| davon biogene KWK                 | 0        | 0          | 0          | -2         | -5         |

Quelle: Berechnungen Öko-Institut

Der Vergleich mit dem APS (Tab. 3-120) zeigt zunächst deutlich, dass die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im EWS bis 2030 nur geringfügig um 6 TWh zugenommen hat<sup>41</sup>, während die gesamte Stromnachfrage um 70 TWh gesunken ist. Damit sinkt der Erzeugungsbedarf für fossile Kraftwerke im Vergleich zum APS um 76 TWh. Im Vergleich zum APS reduziert sich die Verstromung in Braunkohlekraftwerken um 28 TWh, in Steinkohlekraftwerken um 34 TWh. Die Erdgasverstromung sinkt um 9 TWh. Die KWK-Stromerzeugung im Jahr 2030 liegt im EWS um 5 TWh unter dem APS.

Die Veränderungen in der Stromerzeugungsstruktur (Tab. 3-120) spielt sich auch in einem veränderten Kraftwerkseinsatz wieder (Tab. 3-121). So nimmt der Erdgaseinsatz zwischen 2015

<sup>41</sup> Die nur geringe Zunahme der EE-Stromerzeugung liegt darin begründet, dass es aufgrund des verstärkten (Leistungs-) Zubaus von EE und dem zeitgleich starken Rückgang der Stromnachfrage im EWS verstärkt zu Abregelung von EE-Strom kommt.

und 2025 im EWS im Vergleich zum APS leicht zu. Zwar sinkt die gesamte Erdgasverstromung in diesem Zeitraum. Aufgrund der Zunahme der KWK-Stromerzeugung zuungunsten der Kondensationsverstromung kommt es jedoch zu einer leichten Zunahme des Erdgaseinsatzes, da der elektrische Wirkungsgrad von KWK-Anlagen aufgrund der Wärmekopplung geringer ist als in Kondensationskraftwerken. 2030 wirkt sich die weiter gesunkene Erdgasverstromung auch auf den Brennstoffeinsatz aus (ebenfalls gesunken). Die Effekte in Bezug auf den Erdgaseinsatz können nicht direkt einer Maßnahme zugeordnet werden. Jedoch ist davon auszugehen, dass die verstärkte KWK-Förderung im EWS hier eine wichtige Rolle spielt.

Der Stein- und Braunkohleeinsatz nimmt im EWS generell stark ab in Bezug auf das APS. Dies ist konsistent mit dem entsprechenden Rückgang der Stromerzeugung. Es ist davon auszugehen, dass maßgebliche Treiber die Zunahme der EE-Stromerzeugung und der Rückgang der Stromnachfrage sind.

Der Rückgang des Einsatzes von Heizöl ist konsistent mit dem Rückgang der Stromerzeugung unter „Sonstigen“.

Die Zunahme des Einsatzes von Solarenergie liegt in der Zunahme der Stromerzeugung in PV-Anlagen im EWS begründet. Gleichmaßen geht die Stromerzeugung aus Biomasse im EWS im Vergleich zum APS zurück. Zwar ist die installierte Biomasse-Leistung in beiden Szenarien gleich; aufgrund der generell sinkenden Residuallast im EWS im Vergleich zum APS und dem damit geringeren Bedarf des Einsatzes thermischer Kraftwerke, geht jedoch auch die Biomasseverstromung und damit der Biomasseeinsatz im EWS im Vergleich zum APS zurück.

Tab. 3-121: Wirkung der Maßnahmen zur Stromerzeugung in Bezug auf den Brennstoffeinsatz im Kraftwerkspark (Differenz EWS-APS)

| Energieträger | 2008     | 2015        | 2020        | 2025        | 2030        |
|---------------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|               | in [PJ]  |             |             |             |             |
| Erdgas        | 0        | 4           | 17          | 6           | -28         |
| Heizöl        | 0        | 0           | -3          | -29         | -64         |
| Steinkohle    | 0        | -262        | -391        | -471        | -314        |
| Braunkohle    | 0        | -34         | -121        | -205        | -261        |
| Biomasse      | 0        | 0           | -1          | -23         | -77         |
| Solarenergie  | 0        | 7           | 6           | 26          | 57          |
| Summe         | <b>0</b> | <b>-284</b> | <b>-494</b> | <b>-696</b> | <b>-687</b> |

Quelle: Berechnungen Öko-Institut

Tab. 3-122 stellt die Effekte bezüglich der CO<sub>2</sub>-Emissionsminderung differenziert nach einzelnen Maßnahmen im EWS dar (direkte Effekte).

Tab. 3-122: Zusammenfassung der Wirkungen im Energiewende-Szenario

| Maßnahme/<br>Umsetzung/<br>Institution                                     | Typ | Beschreibung/Ziele<br>(Wirkungsbereich)                                  | Umsetzungs-<br>stand<br>(Wirkungs-<br>beginn) | Direkte Emissionsminderungseffekte |      |      |      |
|--|-----|--|---|------------------------------------|------|------|------|
|  |     |  |   | 2015                               | 2020 | 2025 | 2030 |
|  |     |  |   | Mio. t CO <sub>2</sub> -Äqu.       |      |      |      |
| Weiterentwicklung des Emissionshandels                                     | E   | Kosteneffektive CO <sub>2</sub> -Minderung                               | 2013  | IE                                 | IE   | IE   | IE   |
| KWKG   | E   | Vergütung von KWK-Stromerzeugung (große Anlagen)                         | 2013  | IE                                 | IE   | IE   | IE   |
|  | E   | Vergütung von KWK-Stromerzeugung (BHKW)                                  | 2013  | IE                                 | IE   | IE   | IE   |
|  | E   | Förderung von Wärmespeichern   | 2013  | IE                                 | IE   | IE   | IE   |
| KWK-Wärme  | E   | Verbesserung der Erlöse für KWK-Wärme                                    | 2013  | IE                                 | IE   | IE   | IE   |
| Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)  | R,E | Mindestvergütung für die Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien | 2013  | 5                                  | 15   | 25   | 26   |
| Stromeinsparung  | O   | Verringerung des Stromverbrauchs gegenüber APS                           | 2013  | 22                                 | 32   | 41   | 44   |
| <b>Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen</b>                             |     |  |   | 28                                 | 47   | 66   | 70   |
| <b>Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen (ohne Überlagerungseffekte)</b> |     |  |   | 28                                 | 50   | 70   | 71   |

Quelle: Berechnungen Öko-Institut.

Im EWS fällt der größte Anteil der Emissionsminderung mit 44 bzw. 26 Mio. t CO<sub>2</sub> bis 2030 auf die starke Minderung der Stromnachfrage (-70 TWh) sowie den verstärkten Zubau erneuerbarer Stromerzeugung im EWS im Vergleich zum APS (+6 TWh)<sup>42</sup>. Die Veränderung der KWK-Vergütung, die Förderung von Wärmespeichern sowie die Erhöhung der Wärmegutschrift 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 Wärmeenergieerzeugung fallen in den Endverbrauchssektoren (Haushalte, GHD und Industrie) an<sup>43</sup>. Wie im APS ergeben sich für den Emissionshandel im EWS nur geringe direkte Effekte. Die entsprechende CO<sub>2</sub>-Minderung wird aus diesem Grund nicht ausgewiesen. Die geringe direkte CO<sub>2</sub>-Minderung liegt darin begründet, dass sich erst durch sehr hohe CO<sub>2</sub>-Preise Änderungen bei Einlastungsreihenfolge bzw. der Attraktivität der verschiedenen Kraftwerksoperationen ergeben. Der Emissionshandel trägt jedoch - wie im APS - zur Senkung der Stromnachfrage bei. Der bereinigte Gesamteffekt aller Maßnahmen beträgt im Jahr 2030 71 Mio. t CO<sub>2</sub><sup>44</sup>.

Vergleich der Entwicklung der Großhandels-Strompreise und des anlegbaren Wärmepreises

<sup>42</sup> Hierbei muss berücksichtigt werden, dass die Höhe der Einsparung durch erneuerbare Energien nicht direkt proportional mit der eingespeisten Strommenge ist, da die tatsächliche Brennstoffsubstitution vom Zeitverlauf der Einspeisung abhängt. So kann beispielsweise ein verstärkter Zubau von Photovoltaik dazu führen, dass Mittagsspitzen reduziert werden. Dies führt zu vergleichsweise geringen Einsparungen, da damit typischerweise Gas- und Ölkraftwerke bzw. Import substituiert wird. Für die Substitution von Kraftwerken durch Stromeinsparung wird angenommen, dass die Einsparung gleichmäßig über das Jahr erfolgt und somit der Kraftwerkspark insgesamt von den Einsparungen betroffen ist. Jedoch ist hierbei zu beachten, dass der Erzeugungsmix im Zeitverlauf eine geringere CO<sub>2</sub>-Intensität aufweist, so dass Stromeinsparungen auch zu geringeren Emissionsreduzierungen führen.

<sup>43</sup> Entsprechend sind diese Effekte als „an anderer Stelle verbucht“ (IE – included elsewhere) gekennzeichnet.

<sup>44</sup> Im EWS kommt es zu additiven Effekten bei der CO<sub>2</sub>-Minderung durch Zusammenwirken der Einzelmaßnahmen (s. auch Fußnote 40).

Tab. 3-123 zeigt die Entwicklung des Großhandels-Strompreises sowie des anlegbaren Wärme-preises im Vergleich der Szenarien.

**Tab. 3-123: Entwicklung des Großhandels-Strompreises sowie des anlegbaren Wärmepreises im Vergleich der Szenarien, 2008-2030**

|                                | 2008                              | 2015 | 2020 | 2025 | 2030  |
|--------------------------------|-----------------------------------|------|------|------|-------|
| <i>(Modellierungsergebnis)</i> | Strompreis (Großhandel) - €/MWh - |      |      |      |       |
| OMS                            | 62,4                              | 36,1 | 57,9 | 94,1 | 118,1 |
| APS                            | 62,4                              | 45,1 | 50,9 | 73,5 | 96,5  |
| EWS                            | 62,4                              | 43,8 | 45,6 | 46,8 | 39,2  |
| <i>(Modellierungsvorgabe)</i>  | Anlegbarer Wärmepreis - €/GJ -    |      |      |      |       |
| <i>OMS, APS</i>                |                                   |      |      |      |       |
| Haushalte (Fernwärme)          | 15,0                              | 15,3 | 16,8 | 18,1 | 19,1  |
| Industrie                      | 9,3                               | 9,5  | 11,0 | 12,1 | 13,0  |
| <i>EWS</i>                     |                                   |      |      |      |       |
| Haushalte (Fernwärme)          | 16,3                              | 16,0 | 17,6 | 19,3 | 20,8  |
| Industrie                      | 10,6                              | 10,3 | 11,8 | 13,4 | 14,7  |

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

Der Großhandels-Strompreis ist ein Modellierungsergebnis und wird im Wesentlichen von der Entwicklung des Brennstoff- und CO<sub>2</sub>-Preises, der Stromnachfrage sowie der Einspeisung erneuerbarer Energien beeinflusst (Abschnitt 3.8.3).

Aufgrund einer nur vergleichsweise geringen Abnahme der Stromnachfrage und eines moderaten Zubaus erneuerbarer Energien führen die generell steigenden Brennstoff- und CO<sub>2</sub>-Preise im OMS dazu, dass der Großhandelsstrompreis sich von 62,4 €/MWh im Jahr 2008 auf 118,1 €/MWh im Jahr 2030 erhöht.

Im APS sinkt die Stromnachfrage im Vergleich zum OMS stärker und die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien steigt im Szenarienverlauf stärker an. Damit werden im Strommarkt grundsätzlich weniger konventionelle Kraftwerke eingesetzt als im OMS, was aufgrund der nach Grenzkosten ansteigenden Einsatzreihenfolge der Kraftwerke, zu einem geringeren Anstieg des Großhandels-Strompreises im APS führt, der sich von 62,4 €/MWh (2008) auf 96,5 €/MWh (2030) erhöht.

Im EWS steigt der CO<sub>2</sub>-Preis aufgrund der Annahme einer ambitionierten Klimaschutzpolitik stärker an als im OMS und APS, was grundsätzlich preistreibend auf den Strommarkt wirkt. Aufgrund des starken Rückgangs der Stromnachfrage und des starken Wachstums der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien überwiegen jedoch die preissenkenden Anteile in diesem Szenario, sodass der Strompreis von 62,4 €/MWh (2008) auf 39,2 €/MWh (2030) sinkt.

Für die Ermittlung der Strompreise für Haushalte und Industriekunden müssen weitere Kosten für die Netznutzung sowie Steuern (beispielsweise Stromsteuer) und gesetzliche Abgaben (Förderung erneuerbarer Energien und der Kraft-Wärme-Kopplung, Konzessionsabgabe usw.) berücksichtigt werden. Der Ausbau der Erzeugungskapazitäten und der damit einhergehende Infrastrukturausbau (Netzausbau, Speicher, usw.) sind vom gewählten Szenario abhängig. Eine Quantifizierung der damit einhergehenden Kosten kann an dieser Stelle jedoch nicht erfolgen,

da dies eine detaillierte Abschätzung des künftigen Marktdesigns voraussetzt, die im Rahmen dieses Projekts nicht durchgeführt werden konnte.

Der anlegbare Wärmepreis ist eine Eingangsgröße in die Modellierung zur Bewertung der für KWK-Anlagen relevanten Erlöse (Abschnitt 3.8.4). Grundsätzlich steigt der anlegbare Wärmepreis in allen Szenarien aufgrund des steigenden Preises für Erdgas. Im EWS erfolgt eine zusätzliche Preissteigerung aufgrund der zusätzlichen Kostenkomponente für CO<sub>2</sub>.

### **Vergleich der Emissionsentwicklungen in den Szenarien**

Die Tab. 3-124 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 APS und des EWS sowie die seit 1990 bzw. 2005 erzielten Minderungen im Überblick.

Die Emissionen der Treibhausgase CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O gehen im Aktuelle-Politik-Szenario in der Periode 2005 bis 2030 von 388 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. auf 228 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu., also um insgesamt etwa 160 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. zurück. Im Energiewende-Szenario liegen die Treibhausgasemissionen im Jahr 2030 auf einem Niveau von 156 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. und damit um etwa 232 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. unter dem entsprechenden Wert von 2005. In den genannten Zahlen sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus den Rauchgasentschwefelungsanlagen berücksichtigt, die im Jahr 2008 ca. 1,0 Mio. t CO<sub>2</sub> betragen und bis zum Jahr 2030 im APS auf 0,5 Mio. t CO<sub>2</sub> sowie im EWS – bedingt durch den massiven Rückgang der Kohleverstromung – auf etwa 0,3 Mio. t CO<sub>2</sub> zurückgehen.

Für die Periode 2008 bis 2020 ergibt sich damit im APS eine Emissionsminderung von 21 % und für den Zeitraum von 2008 bis 2030 von 41 %. Die entsprechenden Vergleichswerte für das EWS belaufen sich auf 34 bzw. 59 %.

Im Vergleich zum Emissionsniveau des Jahres 2005 beträgt die Emissionsreduktion bis zum Jahr 2030 für das APS knapp 41% und etwa 60% im EWS. Bezogen auf die Ausgangswerte des Jahres 1990 betragen die entsprechenden Reduktionsraten 51 bzw. 66 %.

Tab. 3-124: Emissionsentwicklungen für den Stromerzeugungssektor im Vergleich der Szenarien, 1990-2030

|   | 1990                     | 2005    | 2008    | 2015                     | 2020    | 2025    | 2030    |
|---|--------------------------|---------|---------|--------------------------|---------|---------|---------|
|   | kt CO <sub>2</sub> -Äqu. |         |         |                          |         |         |         |
| CO <sub>2</sub> -Emissionen   |                          |         |         |                          |         |         |         |
| Entwicklung 1990 - 2008   | 455.568                  | 382.804 | 378.513 |                          |         |         |         |
| Aktuelle-Politik-Szenario   |                          |         |         | 352.254                  | 299.333 | 284.542 | 223.219 |
| Energiewende-Szenario   |                          |         |         | 324.092                  | 249.117 | 214.241 | 152.003 |
| CH <sub>4</sub> -Emissionen   |                          |         |         |                          |         |         |         |
| Entwicklung 1990 - 2008   | 251                      | 995     | 1.615   |                          |         |         |         |
| Aktuelle-Politik-Szenario   |                          |         |         | 2.031                    | 2.297   | 2.291   | 2.293   |
| Energiewende-Szenario   |                          |         |         | 2.020                    | 2.281   | 2.169   | 1.951   |
| N <sub>2</sub> O-Emissionen   |                          |         |         |                          |         |         |         |
| Entwicklung 1990 - 2008   | 4.803                    | 4.122   | 4.085   |                          |         |         |         |
| Aktuelle-Politik-Szenario   |                          |         |         | 3.969                    | 3.501   | 3.374   | 2.610   |
| Energiewende-Szenario   |                          |         |         | 3.578                    | 2.835   | 2.466   | 1.768   |
| Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O  |                          |         |         |                          |         |         |         |
| Entwicklung 1990 - 2008   | 460.622                  | 387.921 | 384.213 |                          |         |         |         |
| Aktuelle-Politik-Szenario   |                          |         |         | 358.253                  | 305.132 | 290.207 | 228.122 |
| Energiewende-Szenario   |                          |         |         | 329.691                  | 254.233 | 218.876 | 155.722 |
| Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O  |                          |         |         | Veränderung ab 1990 in % |         |         |         |
| Aktuelle-Politik-Szenario   |                          |         |         | -22,2                    | -33,8   | -37,0   | -50,5   |
| Energiewende-Szenario   |                          |         |         | -28,4                    | -44,8   | -52,5   | -66,2   |
| Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O  |                          |         |         | Veränderung ab 2005 in % |         |         |         |
| Aktuelle-Politik-Szenario   |                          |         |         | -7,6                     | -21,3   | -25,2   | -41,2   |
| Energiewende-Szenario   |                          |         |         | -15,0                    | -34,5   | -43,6   | -59,9   |
| Anmerkungen: nur energiebedingte Emissionen in der Abgrenzung des NIR, mit CO <sub>2</sub> -Emissionen aus der Rauchgasentschwefelung |                          |         |         |                          |         |         |         |

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

### 3.9 Andere Umwandlungssektoren

#### 3.9.1 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.

#### 3.9.2 Methodik, Annahmen und Parameter

Neben den Treibhausgasemissionen der Stromerzeugung müssen für den Umwandlungssektor noch eine Reihe weiterer Verursacherbereiche berücksichtigt werden:

- Heizwerke der Fernwärmeversorgung,

- Raffinerien (inkl. Anlagen zur Biokraftstoffherstellung),
- übrige Anlagen des Umwandlungssektors (Braunkohlengruben, Steinkohlensechen, 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, Steinkohlensechen, 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.<sup>45</sup>

---

<sup>45</sup> An dieser Stelle muss auf ein Spezifikum der Brennstoffeinsatz-Bilanzierung für die Biokraftstoffherstellung hingewiesen werden: Für die historischen Daten wird in den deutschen Energiebilanzen (bisher) bei der Biokraftstoffherstellung eine Umsetzung der eingesetzten Biomasse ohne jegliche Umwandlungsverluste unterstellt. Für die Projektion wird dagegen die (einheimische) Biokraftstoffherstellung mit einem eigenen Modul abgebildet, das neben dem Hilfsenergieeinsatz von Strom und Erdgas auch die Umwandlungsverluste bei der Biomasse berücksichtigt. Die historischen Zeitreihen wurden einer entsprechenden Korrektur nicht unterzogen, so dass für die Zeitreihe im Bereich der übrigen Umwandlungsanlagen zwischen historischen und Projektionsdaten ein methodischer Bruch entsteht. Dieser Effekt ist jedoch nur für die Energiebilanzen von Bedeutung, hinsichtlich der Treibhausgasemissionen entstehen durch diese Situation vernachlässigbare Effekte.

### 3.9.3 Ergebnisse der Projektionen

Die Tab. 3-125 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 2008 ergeben sich die Treibhausgasemissionen in den übrigen Umwandlungssektoren für das Aktuelle-Politik-Szenarios und das Energiewende-Szenarios einerseits aus dem Niveau der Energienachfragen sowie der Struktur des Energieaufkommens.

Tab. 3-125: Emissionseinsparungen der übrigen Umwandlungssektoren im Vergleich der Szenarien, 1990-2030

|   | 1990                     | 2005   | 2008   | 2015                     | 2020   | 2025   | 2030   |
|---|--------------------------|--------|--------|--------------------------|--------|--------|--------|
|   | kt CO <sub>2</sub> -Äqu. |        |        |                          |        |        |        |
| CO <sub>2</sub> -Emissionen   |                          |        |        |                          |        |        |        |
| Entwicklung 1990 - 2008   | 36.117                   | 31.924 | 32.426 |                          |        |        |        |
| Aktuelle-Politik-Szenario   |                          |        |        | 29.277                   | 28.429 | 27.658 | 26.009 |
| Energiewende-Szenario   |                          |        |        | 24.525                   | 22.984 | 21.628 | 19.813 |
| CH <sub>4</sub> -Emissionen   |                          |        |        |                          |        |        |        |
| Entwicklung 1990 - 2008   | 86                       | 31     | 19     |                          |        |        |        |
| Aktuelle-Politik-Szenario   |                          |        |        | 16                       | 16     | 16     | 15     |
| Energiewende-Szenario   |                          |        |        | 15                       | 16     | 15     | 14     |
| N <sub>2</sub> O-Emissionen   |                          |        |        |                          |        |        |        |
| Entwicklung 1990 - 2008   | 229                      | 141    | 161    |                          |        |        |        |
| Aktuelle-Politik-Szenario   |                          |        |        | 154                      | 154    | 152    | 142    |
| Energiewende-Szenario   |                          |        |        | 139                      | 135    | 130    | 118    |
| Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O  |                          |        |        |                          |        |        |        |
| Entwicklung 1990 - 2008   | 36.432                   | 32.096 | 32.607 |                          |        |        |        |
| Aktuelle-Politik-Szenario   |                          |        |        | 29.446                   | 28.600 | 27.826 | 26.167 |
| Energiewende-Szenario   |                          |        |        | 24.679                   | 23.135 | 21.773 | 19.945 |
| Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O  |                          |        |        | Veränderung ab 1990 in % |        |        |        |
| Aktuelle-Politik-Szenario   |                          |        |        | -19,2                    | -21,5  | -23,6  | -28,2  |
| Energiewende-Szenario   |                          |        |        | -32,3                    | -36,5  | -40,2  | -45,3  |
| Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O  |                          |        |        | Veränderung ab 2005 in % |        |        |        |
| Aktuelle-Politik-Szenario   |                          |        |        | -8,3                     | -10,9  | -13,3  | -18,5  |
| Energiewende-Szenario   |                          |        |        | -23,1                    | -27,9  | -32,2  | -37,9  |
| Anmerkungen: nur energiebedingte Emissionen in der Abgrenzung des NIR, ohne Kraftwerke der Raffinerien und des übrigen Umwandlungssektors |                          |        |        |                          |        |        |        |

Quellen: UBA (2011a+b), Berechnungen 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 Energie-

verbrauch und damit zusätzlichen Emissionen führt<sup>46</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. Leicht rückgängig sind schließlich auch die Emissionen der öffentlichen Heizwerke, vor allem bedingt durch den zunehmenden Einsatz von Erdgas und erneuerbaren Energien.

Insgesamt ist die Emissionsentwicklung der übrigen Umwandlungssektoren durch die Entwicklungen im Raffineriebereich sowie bei den öffentlichen Heizwerken geprägt. 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 Aktuelle-Politik-Szenario (APS) die Treibhausgasemissionen in den übrigen Umwandlungssektoren von 2008 bis 2020 um etwa 4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. zurück und sinken bis 2030 nochmals um mehr als 2 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. Infolge der massiven Änderungen im Energieträgeraufkommen im Energiewende-Szenario (EWS) verringern sich die Treibhausgasemissionen für den Zeitraum 2008 bis 2020 um etwa 9,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. und bis 2030 um weitere 3 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu.

Bezogen auf das Jahr 2005 gehen damit die energiebedingten Treibhausgasemissionen der übrigen Umwandlungssektoren im APS bis 2020 um knapp 11 % und bis 2030 um etwa 18,5% zurück. Für das EWS liegen die entsprechenden Emissionsminderungen bei 28 % (2020) bzw. 38 % (2030).

Im Vergleich zum Basisjahr 1990 liegen die Emissionen der übrigen Umwandlungssektoren im Aktuelle-Politik-Szenario für das Jahr 2020 um 21,5 % und für das Jahr 2030 um etwa 28% unter dem Basisniveau. Für das Energiewende-Szenario ergibt sich für die entsprechenden Zeiträume ein Emissionsrückgang von 36,5 % (2020) bzw. 45 % (2030).

---

<sup>46</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 4.1.2).

## 3.10 Primär und Endenergiebedarf

### 3.10.1 Primärenergiebedarf

Die 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 weitgehende 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>47</sup>

In diesem Kontext ist anzumerken, dass hinsichtlich der Entwicklung des Primärenergieverbrauchs eine systematische Verzerrung durch die verschiedenen Konventionen der Energiestatistik zu berücksichtigen ist. So wird die Kernenergie nach der verwendeten Wirkungsgradmethode per Konvention 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

---

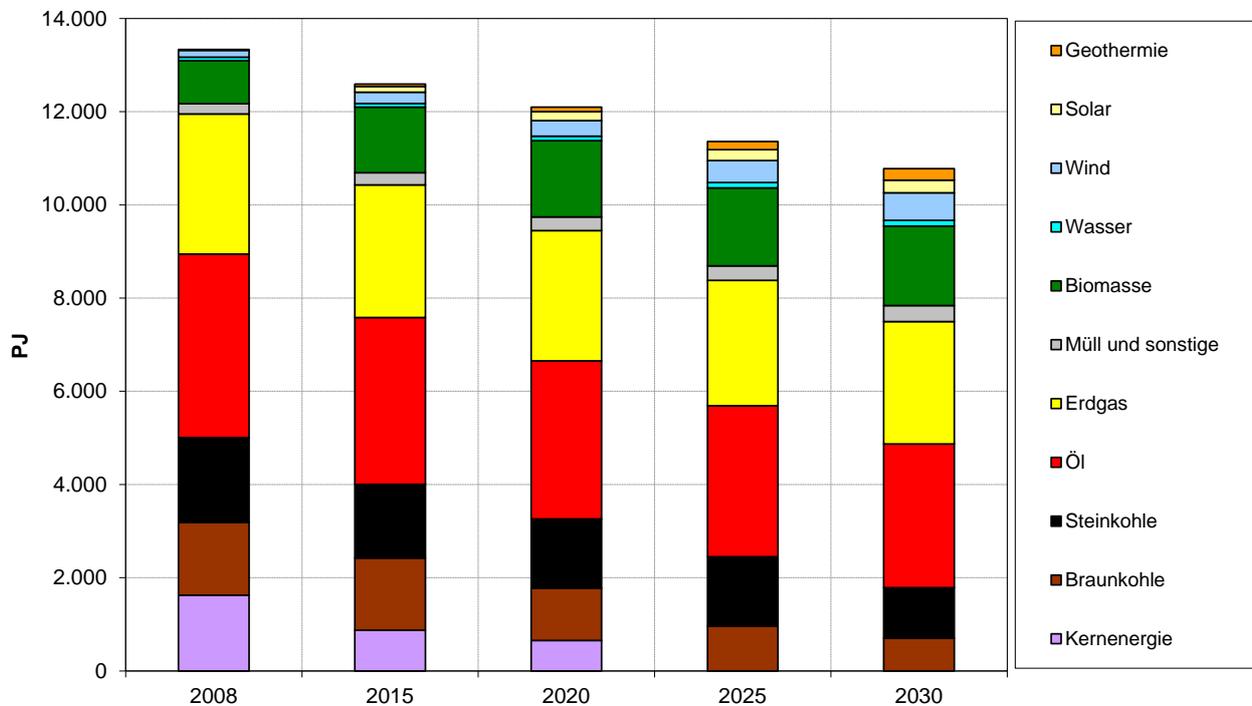
<sup>47</sup> Um die Vergleichbarkeit mit dem Mengengerüst für die Emissionsermittlung zu ermöglichen, ist auf die folgenden Unterschiede zwischen der Systematik der Emissionsinventarisierung und der Systematik der Energiebilanzen hinzuweisen: Erstens wird in der Systematik der Energiebilanz beim Endenergieeinsatz 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. Die Wärmeproduktion der industriellen Heizkraftwerke wird dabei – im Unterschied zu den deutschen Energiebilanzen – direkt dem Endenergieeinsatz der Industrie zugerechnet und dort bei der Fern- und Nahwärmenachfrage verbucht, d.h. es erfolgt keine Zurechnung der Brennstoffeinsätze für die Erzeugung der KWK-Wärme wie in der Methodik der deutschen Energiebilanzen. Obwohl mit Blick auf diese methodische Konvention und aufgrund vielfältiger weiterer Abgrenzungsprobleme die Werte der Energiebilanz nicht vollständig reproduziert werden konnten, ergibt sich insgesamt ein mit der Energiebilanz relativ gut vergleichbares Mengengerüst.

100 % in die Primärenergiebilanz eingehen.<sup>48</sup> Tendenziell sinkt somit der PEV aufgrund der unterschiedlichen primärenergieseitigen Bewertung der nicht-fossilen Energieträger.

Abb. 3-16: Primärenergiebedarf nach Energieträgern im Aktuelle-Politik-Szenario, 2008-2030



Quellen: Berechnungen Öko-Instituts.

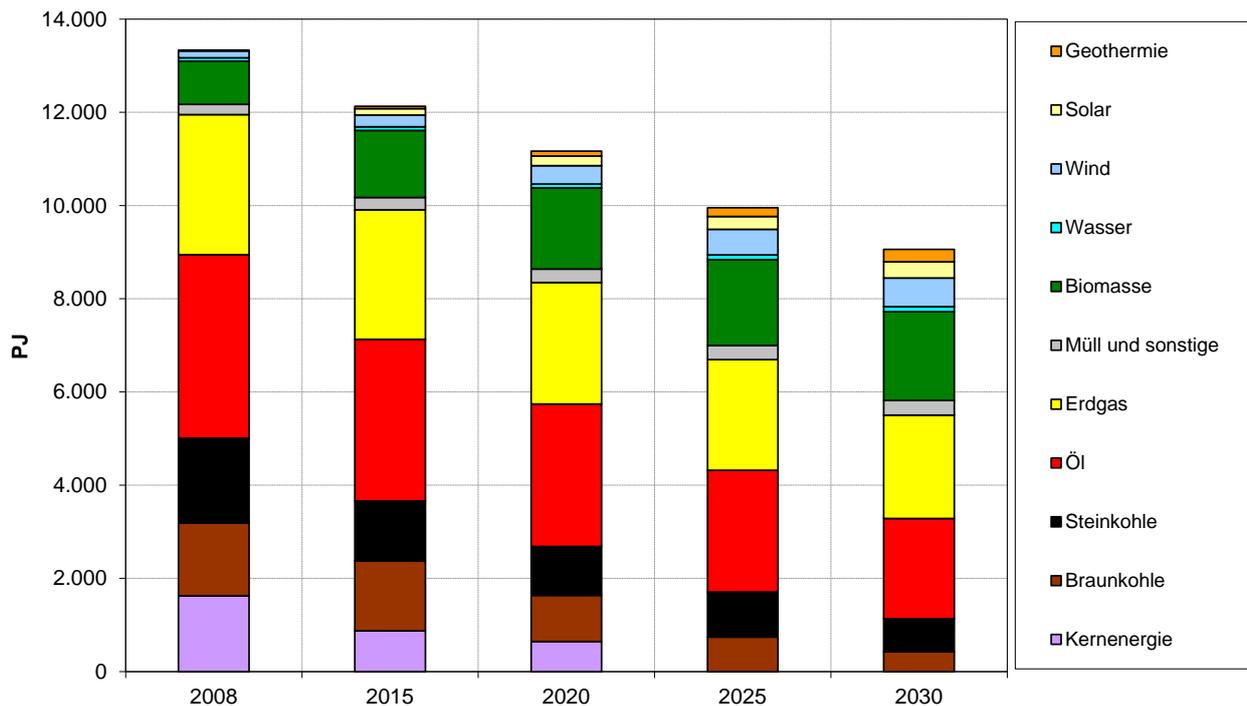
Der Primärenergiebedarf (ohne nichtenergetischen Verbrauch) sinkt im Aktuelle-Politik-Szenario (APS) von etwa 13.300 PJ im Jahr 2008 auf ca. 12.100 PJ im Jahr 2020 (-9 %) bzw. auf knapp 10.800 PJ im Jahr 2030 (-19 %). Damit einher geht eine Verschiebung der Struktur des Primärenergiebedarfs, wie Abb. 3-16 deutlich zeigt.

Der Einsatz der Kernenergie geht aufgrund des AtG von 2011 deutlich zurück und leistet ab dem Jahr 2023 keinen Beitrag. Der Verbrauch von Mineralölen und Kohlen nimmt zwischen 2008 und 2030 deutlich ab. So sinkt der Primärenergiebedarf von Mineralölprodukten über den gesamten Betrachtungszeitraum um etwa 860 PJ und der Verbrauch von Braun- und Steinkohlen geht um etwa 1.600 PJ zurück. Auch der Erdgasverbrauch vermindert sich über den Zeitraum von 2008 bis 2030 um etwa 380 PJ auf etwa 2.630 PJ in 2030, vergrößert jedoch seinen relativen Anteil am Primärenergiebedarf von 22,6 % auf 24,4 % in 2030. Ein starker Zuwachs ist vor allem bei den erneuerbaren Energieträgern festzustellen, wo sich zwischen dem Basisjahr 2008 und dem Jahr 2020 ein Anstieg des Aufkommens um etwa den Faktor 2,0 und bis 2030 um den Faktor 2,5 ergibt. In hohem Maße tragen hierzu vor allem Biomasse und Wind bei, wobei die Wachstumsdynamik bei Wind deutlich stärker ausgeprägt ist. Während die Biomasse im Jahr 2020 mit 1.640 PJ noch einen Anteil von knapp 70% des gesamten regenerativen Primärenergieangebots repräsentiert, so geht dieser Anteil bis 2030 bei leichtem Niveauwachstum (1.710 PJ) auf unter 60 % zurück. Windenergie repräsentiert im Jahr 2030 mit

<sup>48</sup> Auch der Stromaußenhandel wird primärenergieseitig mit einem Wirkungsgrad von 100 % bewertet.

fast 600 PJ den zweitwichtigsten erneuerbare Energieträger (Anteil von ca. 20 % am Gesamtaufkommen der erneuerbaren Energien). Solarenergie, Geothermie und Umweltwärme sowie ein kleinerer Anteil Wasserkraft repräsentieren im Jahr 2020 einen Anteil von 16% und im Jahr 2030 einen Anteil von knapp 22 % am gesamten Primärenergieeinsatz erneuerbaren Energien. Insgesamt ergibt sich im APS ein Anteil erneuerbarer Energie am gesamten Primärenergieaufkommen von 19,5 % im Jahr 2020 und von über 27 % im Jahr 2030.

Abb. 3-17: Primärenergiebedarf nach Energieträgern im Energiewende-Szenario, 2008-2030



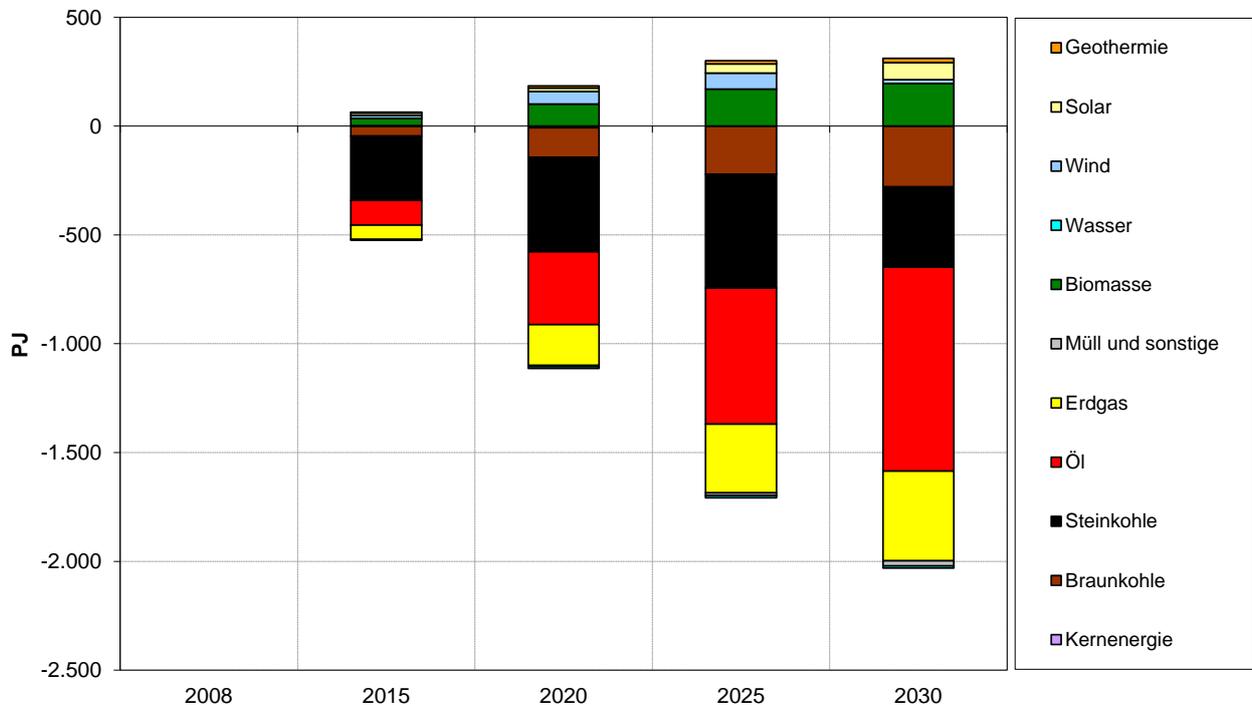
Quellen: Berechnungen des Öko-Instituts.

Der Primärenergiebedarf geht im Energiewende-Szenario (EWS) erwartungsgemäß deutlich stärker als im APS zurück und zwar von etwa 13.300 PJ im Jahr 2008 auf ca. 11.200 PJ im Jahr 2020 (-16 %) und 9.100 PJ im Jahr 2030 (-32 %). Es werden dabei vor allem weniger Kohle und Mineralöl eingesetzt. Aber auch der Erdgasverbrauch geht von 2008 bis 2030 um ca. 26 % zurück, der Anteil von Erdgas am gesamten Primärenergieaufkommen vergrößert sich aber gleichwohl noch leicht von knapp 23 % im Jahr 2008 auf über 24 % im Jahr 2030.

Ein noch stärkerer Zuwachs als im APS findet bei den erneuerbaren Energieträgern statt, wobei im Jahr 2020 der Anteil der Erneuerbaren auf über 23 % (etwa 2.530 PJ) und im Jahr 2030 auf fast 36 % (3.240 PJ) ansteigt, was im Vergleich zum Jahr 2008 einer Steigerung um den Faktor 2,8 entspricht. Der Anteil erneuerbarer Energien wird – bei allerdings abnehmender Tendenz – vor allem durch die Biomasse geprägt, mit Beiträgen von 1.740 PJ im Jahr 2020 bzw. mit 1.900 PJ. Dies entspricht knapp 69 % des gesamten Aufkommens erneuerbarer Energien im Jahr 2020 bzw. 59 % im Jahr 2030. Unter den erneuerbaren Energieträgern wird der zweitgrößte Beitrag durch Wind erbracht; mit etwa 390 PJ im Jahr 2020 und 610 PJ im Jahr 2030. Den drittgrößten Beitrag erbringt für den Zeithorizont ab 2020 die Solarenergie, hier ergibt sich für das Jahr 2020 ein Beitrag von knapp 210 PJ, der bis zum Jahr 2030 auf fast 350 PJ wächst. Der

Anteil der erneuerbaren Energien am gesamten Primärenergieaufkommen erhöht sich bis zum Jahr 2020 auf knapp 23 % sowie fast 36 % im Jahr 2030.

Abb. 3-18: Unterschiede im Primärenergiebedarf zwischen Energiewende-Szenario und Aktuelle-Politik-Szenario, 2008-2030



Quellen: Berechnungen des Öko-Instituts.

Die Differenzen beim Primärenergiebedarf zwischen dem EWS und APS zeigt Abb. 3-18. Für das Jahr 2020 steht dabei einem Minderverbrauch fossiler Energieträger (v.a. bei Steinkohle und Mineralöl) von knapp 1.100 PJ sowie einem verringerten Primärenergieaufkommen bei der Kernenergie ein Mehrangebot bei den regenerativen Primärenergieträgern von etwa 180 PJ gegenüber, so dass sich netto ein Minderverbrauch von etwa 930 PJ ergibt. Der Gesamtunterschied von knapp 1.720 PJ im Jahr 2030 ergibt sich aus einem Rückgang beim Verbrauch fossiler Primärenergieträger in Höhe von etwa 2.020 PJ (ganz überwiegend im Bereich Mineralöl) und einem Zuwachs des Beitrags v.a. erneuerbarer Energien von 300 PJ.

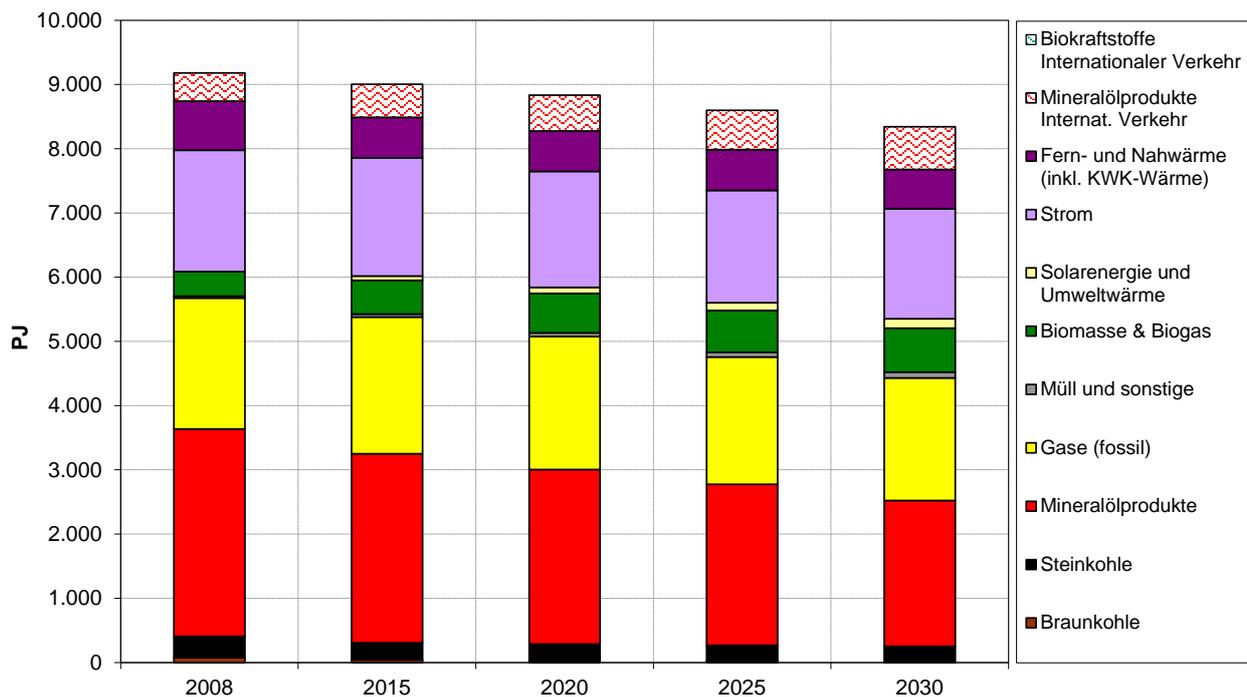
Neben den deutlichen Energieeinsparungen in den Endverbrauchsbereichen (Erdgas, Öl) ist hier vor allem auf die Verdrängung von Braun-, v.a. aber Steinkohle durch den deutlich stärker von (teilweise fluktuierenden) erneuerbaren Energien geprägten Kraftwerkspark, aber auch auf die o.g. verzerrenden Effekte der (internationalen) statistischen Konventionen hinzuweisen.

Im Bereich der wachsenden Primärenergieanteile ergibt sich im Vergleich von APS und EWS der größte Anteil für den Biomasseinsatz, wobei sich hier die wesentlichen Differenzbeiträge aus dem Stromerzeugungssektor sowie dem Verkehrsbereich (mit einem deutlichen Beitrag der Flugtreibstoffe auf Biomassebasis) ergeben.

### 3.10.2 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 Aktuelle-Politik-Szenario (APS) ist in Abb. 3-19 dargestellt.

Abb. 3-19: Entwicklung des gesamten Endenergiebedarfs nach Energieträgern im Aktuelle-Politik-Szenario, 2008-2030



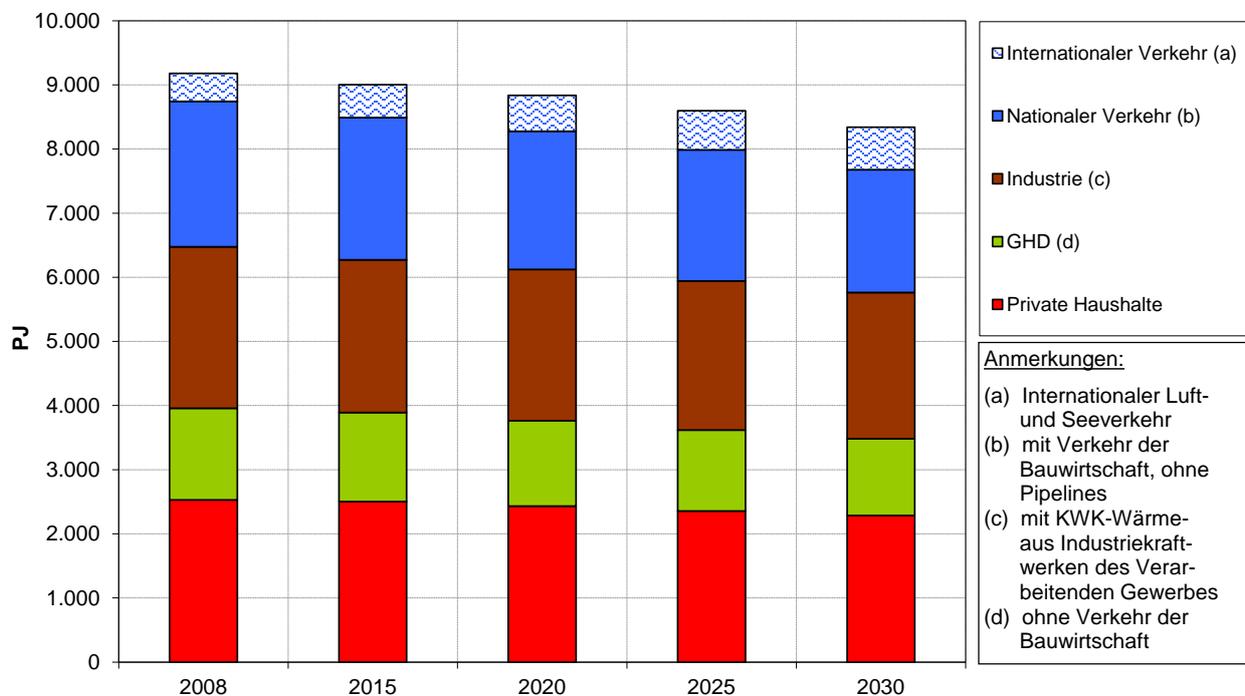
Quellen: Berechnungen von Fraunhofer ISI, IEK-STE und Öko-Institut.

Der gesamte Endverbrauch (in der – näherungsweise – Abgrenzung der Energiebilanz) ist dabei leicht rückläufig. Er sinkt von 9.180 PJ im Jahr 2008 auf unter etwa 8.840 PJ im Jahr 2020 und 8.340 PJ im Jahr 2030, was einem Rückgang von 3,7 (2020) bzw. 9,1 % (2030) entspricht.

Wie auch beim Primärenergiebedarf ist die Entwicklung für die einzelnen Energieträgergruppen sehr unterschiedlich. Der (bereits im Basisjahr 2008 geringe) Verbrauch von Braunkohlen nimmt von 2008 bis 2020 um etwa 60 und bis 2030 um knapp 80 % ab. Der Steinkohleneinsatz, der im Wesentlichen auf den Sektor Industrie entfällt (v.a. auf die Metallherzeugung) geht bis 2020 um etwa 23 % und bis 2030 um etwa 30 % zurück, wobei dieser vergleichsweise moderate Rückgang vor allem auf die begrenzte Substituierbarkeit des Steinkohleinsatzes in der Stahlindustrie zurückzuführen ist. Bei den Mineralölprodukten ist über den Betrachtungszeitraum 2008 bis 2030 ein deutlicher Rückgang des Verbrauchs zu beobachten, der sich bis 2020 um etwa 16 % und bis 2030 um knapp 30 % verringert. Hinzuweisen ist dabei auf die Tatsache, dass sich dieser Verbrauchsrückgang im Bereich der Mineralölprodukte als Saldo eines starken Rückgangs im Bereich von Heizöl, Ottokraftstoff sowie Diesel und einem deutlichen Zuwachs von Flugtreibstoffen ergibt. Bei Erdgas ist hingegen für den Zeitraum 2008 bis 2020 noch ein leichter Zuwachs des Verbrauchs (1,5 %) zu verzeichnen, bis 2030 nimmt dann aber auch der

Erdgaseinsatz in den Endverbrauchssektoren ab und erreicht 2030 ein Niveau von 6,6 % unter dem von 2008. Der Deckungsbeitrag der erneuerbaren Energien am Endenergie-Verbrauch nimmt im Szenariozeitraum deutlich zu und wächst – bei einem allerdings geringem Ausgangsniveau von nur 4,2 % (382 PJ)- bis 2020 auf 710 PJ und bis 2030 auf 830 PJ an womit dann Deckungsanteile von 8 bzw. 10 % erreicht werden. Der Zuwachs entfällt jeweils zu zwei Dritteln auf biogene Brennstoffe und zu einem Drittel auf Solarenergie, Geothermie und Umweltwärme. Der gesamte Endenergiebedarf an Strom sinkt im Aktuelle Politikszenario bis 2020 um etwa 4 und bis 2030 um 9 %, ein deutlicher Rückgang ergibt sich für den Fern- und Nahwärmeverbrauch (inklusive KWK-Wärme in der Industrie), hier sinkt die Nachfrage um etwa 18 % bis 2020 und 20 % bis 2030.

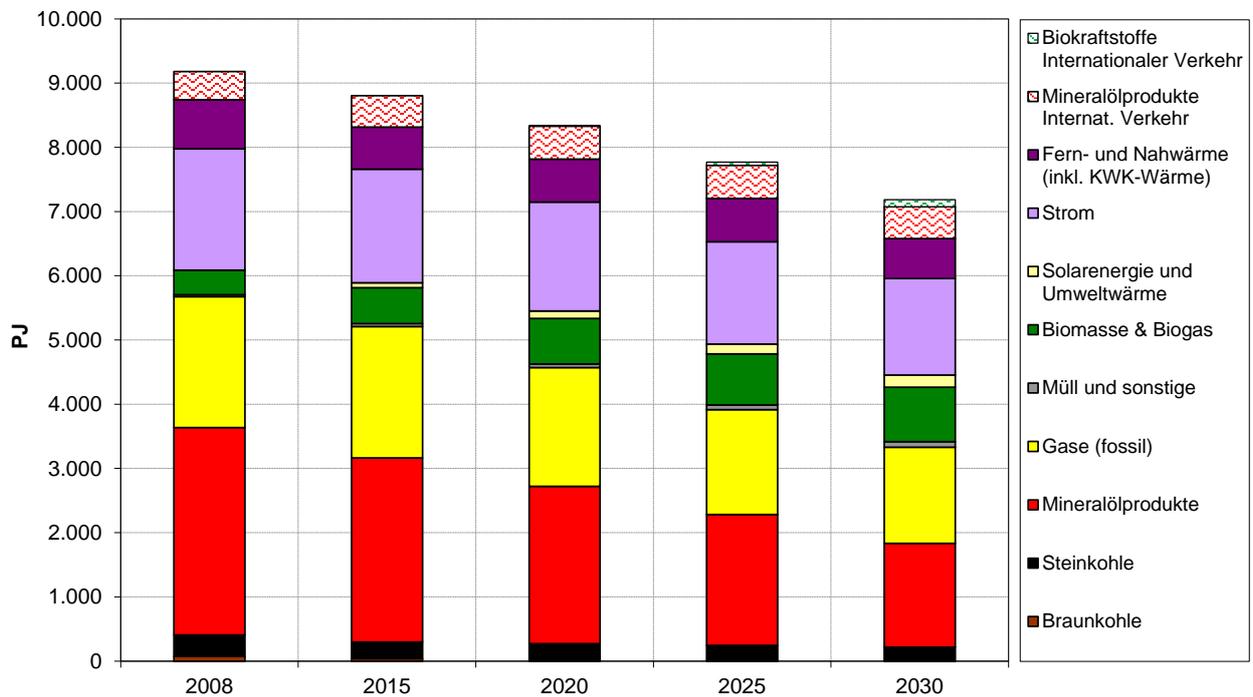
Abb. 3-20: Sektorale Aufteilung des gesamten Endenergiebedarfs im Aktuelle-Politik-Szenario, 2008-2030



Quellen: Berechnungen von Fraunhofer ISI, IEK-STE und Öko-Institut.

Die Entwicklungen in den einzelnen Sektoren (Abb. 3-20) fallen dabei sehr unterschiedlich aus. Während der Endenergiebedarf in der Industrie bis 2020 um etwa 6 % und bis 2030 um 9,5 % zurückgeht, sinkt der Bedarf im GHD-Sektor von 2008 bis 2020 um 7 % bzw. bis 2030 um etwa 16 %. Vor allem aufgrund von Wärmeschutzmaßnahmen im Gebäudebereich und effizienterer Anlagentechnik geht der Endenergieverbrauch der privaten Haushalte bis 2020 um knapp 4 % und bis 2030 um 9,6 % zurück. Erhebliche Verbrauchsrückgänge ergeben sich auch für den nationalen Bereich des Verkehrssektors, hier verringert sich die Nachfrage v.a. als Folge verschärfter Verbrauchsstandards von 2008 bis 2020 um 5 % und von 2008 bis 2030 um fast 16 %. Eine gegenläufige Entwicklung ergibt sich für den internationalen Verkehr, hier kommt es bis 2020 zu einem Zuwachs des Endenergieverbrauchs von knapp 28 und bis 2030 um 52 %.

Abb. 3-21: Entwicklung des gesamten Endenergiebedarfs nach Energieträgern im Energiewende-Szenario, 2008-2030



Quellen: Berechnungen von Fraunhofer ISI, IEK-STE und Öko-Institut.

Der gesamte Endenergiebedarf im Energiewende-Szenario (EWS) geht deutlich stärker zurück als im APS. Er sinkt von ca. 9.180 PJ im Jahr 2008 auf etwa 8.340 PJ im Jahr 2020 und 7.190 PJ im Jahr 2030, dies entspricht einem Rückgang von 9,1 % bzw. 21,7 % (Abb. 3-21). Im Vergleich zum APS bedeutet dies eine Energieeinsparung um weitere 500 PJ bzw. 5 Prozentpunkte für das Jahr 2020 sowie etwa 1.160 PJ (13 Prozentpunkte) für das Jahr 2030.

Der ohnehin bereits geringe Einsatz von Braunkohle in den Endverbrauchssektoren geht bis zum Ende des Szenariozeitraums auf nur noch sehr geringe Mengen zurück, für den Zeitraum 2008 bis 2030 entspricht dies einem Rückgang von über 90 %. Bedingt durch die Steinkohle-nachfrage der Stahlindustrie fällt der Einsatzrückgang hier mit etwa 26 % im Zeitraum bis 2020 und knapp 36 % bis 2030 deutlich geringer aus. Insgesamt repräsentieren jedoch Braun- und Steinkohle nur noch sehr geringe Anteile des gesamten Endenergieaufkommens (ca. 4,5 % in 2008, etwa 3 % in 2020 und 2030).

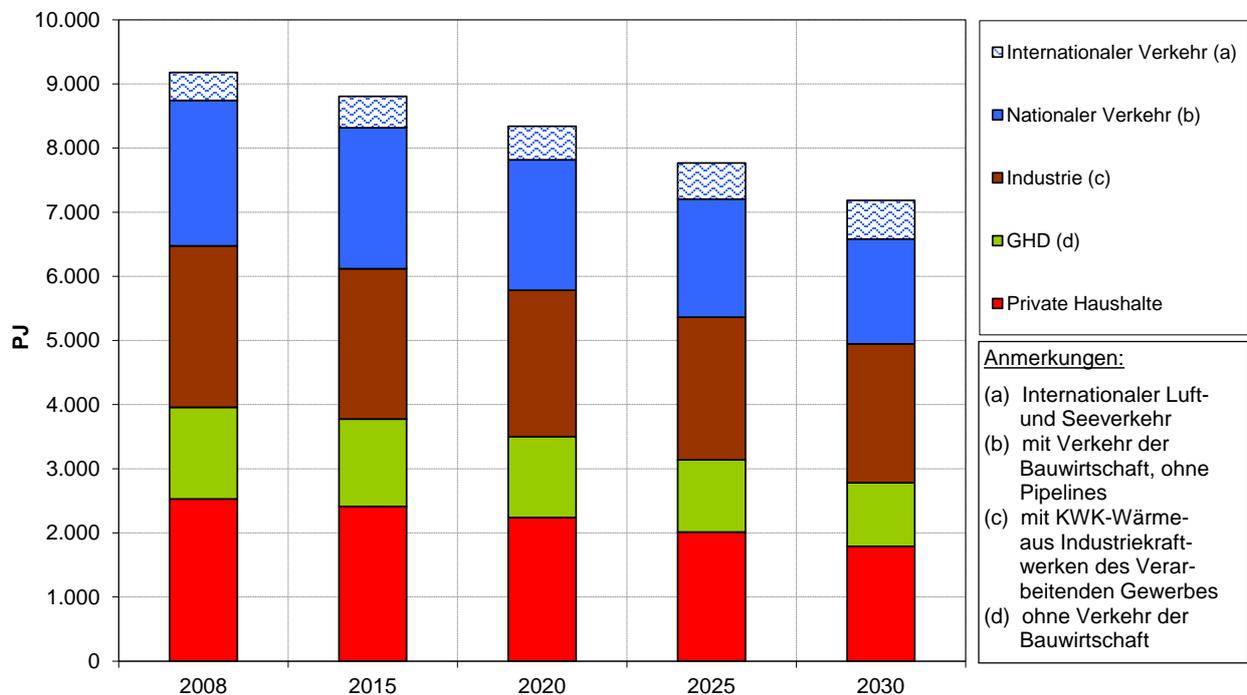
Im der Periode von 2008 bis 2020 nimmt auch der Anteil an Mineralölprodukten am gesamten Endenergeträgeraufkommen von ca. 35 % auf knapp 30 % sowie bis 2030 dann auf etwa 23 % ab. Mit Blick auf die absoluten Verbrauchsniveaus entspricht dies einem Rückgang des Absatzes von knapp 24 % bis 2020 und 50 % bis 2030. Der Anteil von Erdgas am gesamten Endenergieaufkommen bleibt bis 2020 auf einem Niveau von etwa 22 % konstant und geht bis 2030 auf knapp 21 % zurück, gleichwohl geht der absolute Erdgaseinsatz in den Endverbrauchssektoren bis 2020 um etwa 9 % und bis 2030 um fast 27 % zurück.

Der Anteil erneuerbarer Energien am Endenergie-Verbrauch steigt von 4,2 % auf 10 % (840 PJ) im Jahr 2020 sowie 15,9 % (1.150 PJ) im Jahr 2030, wobei auch hier die Entwicklung zum grö-

berer Teil durch den verstärkten Einsatz von Biomasse (v.a. Biokraftstoffen) getrieben wird. Speziell hinzuweisen ist hier auf den Sachverhalt, dass Biokraftstoffe im Energiewende-Szenario erstmalig einen deutlich erkennbaren Beitrag im Bereich des Luftverkehrs erbringen.

Die Aufkommensanteile von Fern- und Nahwärme (inklusive KWK-Wärmeerzeugung in der Industrie) bleiben im Energiewende-Szenario bei Werten zwischen 8 und 9 %, absolut verringert sich die entsprechende Nachfrage jedoch im Vergleich zu 2008 deutlich, bis 2020 um knapp 13 % und bis 2030 um über 18 %. Der Strombedarf geht im Zeitraum 2008 bis 2020 um etwa 10 % und bis 2030 um fast 20 % zurück, wobei der Stromanteil am gesamten Endenergiebedarf um etwas weniger als einen Prozentpunkt auf etwa 21 % im Jahr 2030 ansteigt.

Abb. 3-22: Sektorale Aufteilung des gesamten Endenergiebedarfs im Energiewende-Szenario, 2008-2030

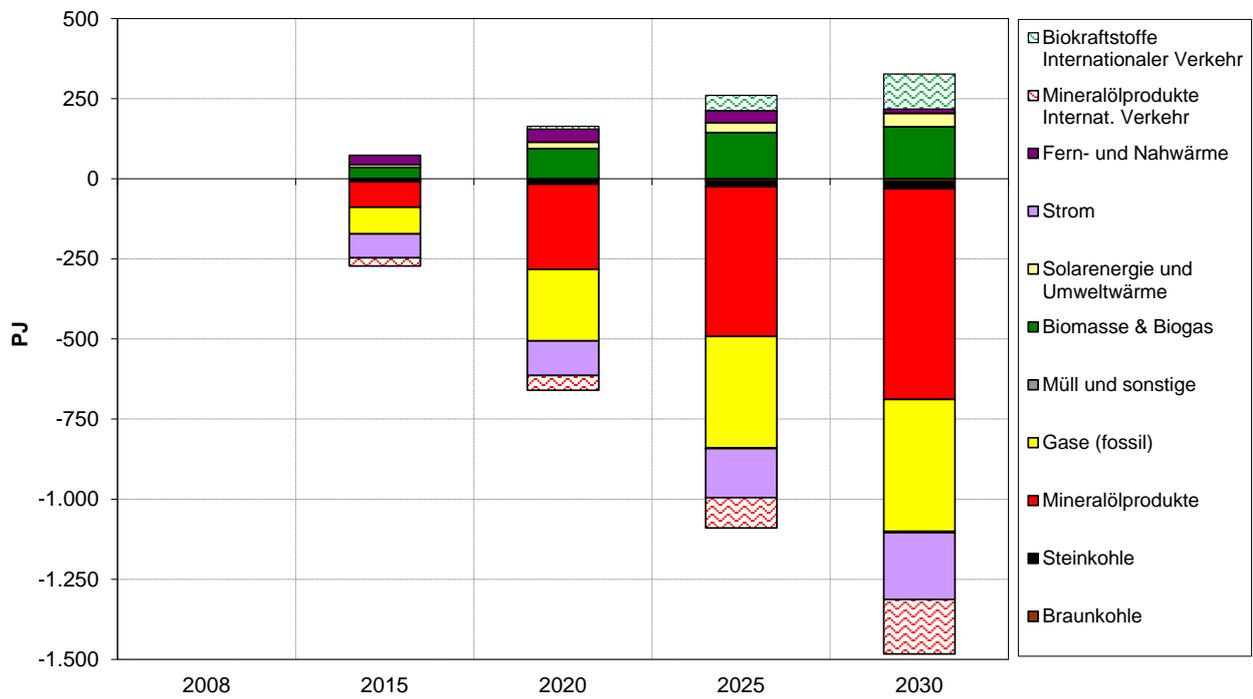


Quellen: Berechnungen von Fraunhofer ISI, IEK-STE und Öko-Institut.

Die Abb. 3-22 verdeutlicht die Entwicklung der sektoralen Aufteilung der Endenergienachfrage im Szenariozeitraum. Insgesamt ergibt sich mit Ausnahme der Industrie sowie des internationalen Verkehrs eine vergleichsweise ähnliche Entwicklung für die verbleibenden Endverbrauchssektoren.

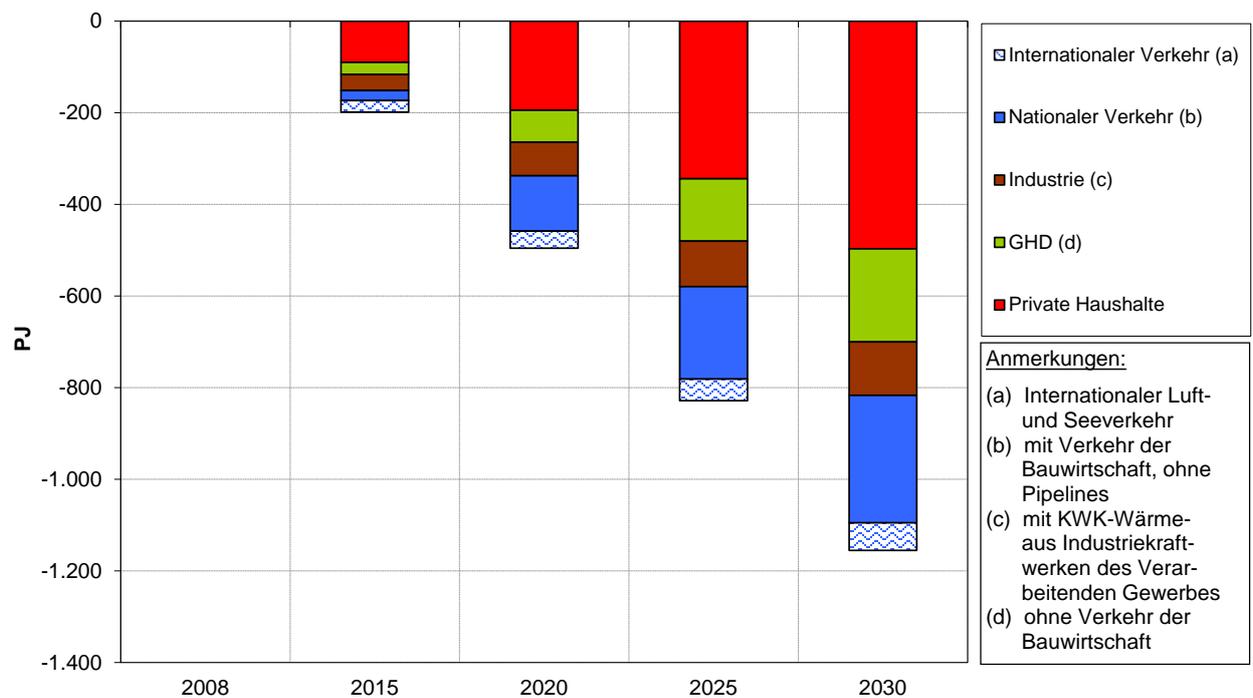
Der durch die Nachfrage nach Heizung dominierte Endverbrauch des Haushalts- und des GHD-Sektors geht von 2008 bis 2020 um etwa 11,5 % und bis 2030 um 29 % (Privathaushalte) bzw. 30 % (GHD-Sektor) zurück. Im Bereich des nationalen Verkehrs (v.a. dominiert durch die Nachfrage des Straßenverkehrs bzw. die Verbrauchsstandards für die Fahrzeuge) ergibt sich bis 2020 ein Rückgang der Endenergienachfrage von über 10 % und bis 2030 ein Verbrauchsrückgang von knapp 28 %.

Abb. 3-23: Differenz des Endenergiebedarfs zwischen Energiewende-Szenario und Aktuelle-Politik-Szenario nach Energieträgern, 2008-2030



Quellen: Berechnungen von Fraunhofer ISI, IEK-STE und Öko-Institut.

Abb. 3-24: Unterschiede im sektoralen Endenergiebedarf zwischen dem Energiewende-Szenario und dem Aktuelle-Politik-Szenario, 2008-2030



Quellen: Berechnungen von Fraunhofer ISI, IEK-STE und Öko-Institut.

Dagegen wächst der Energieverbrauch des internationalen Luft- und Schiffsverkehrs im Szenariozeitraum weiter an, wenn auch etwas schwächer als im Aktuelle-Politik-Szenario. Bis zum Jahr 2020 ergibt sich ein Verbrauchszuwachs von 19 % und bis 2030 nimmt der Energieverbrauch hier um etwa 39 % zu.

Wie die vergleichenden Darstellungen der Endenergieszenarien für das EWS und das APS (Abb. 3-23 und Abb. 3-24) verdeutlichen, liegt der Endenergiebedarf in den Stützjahren 2020 und 2030 im EWS erheblich niedriger als im APS. Insgesamt werden im APS im Jahr 2020 etwa 480 PJ und im Jahr 2030 etwa 1.160 PJ Endenergie weniger nachgefragt als im APS.

Dabei nimmt – entgegen den Trends bei den fossilen Energieträgern – der Endenergiebedarf erneuerbarer Energieträger deutlich zu. Im Jahr 2020 liegt im EWS der Einsatz von erneuerbaren Energien um 120 PJ und im Jahr 2030 um knapp 210 PJ höher als im APS. Wie Abb. 3-23 zeigt, entfällt der größte Anteil des Verbrauchszuwachses bei den erneuerbaren Energien im Endenergiebereich auf Biomasse, Biogas und Biokraftstoffe (bei letzteren auch auf eine erkennbare Nachfrage von Flugtreibstoffen auf Biomassebasis).

Mit der entsprechenden Substitution, aber in deutlich stärkerem Maße mit erheblichen Verbesserungen bei der Endenergieeffizienz verbunden, ergeben sich die stärksten Unterschiede zwischen APS und EWS für die Nachfrage nach Mineralölprodukten. Von der gesamten Nachfrageminderung in der Größenordnung von 660 PJ für das Jahr 2020 (die in der Kombination mit einem Nachfragezuwachs v.a. der erneuerbaren Endenergie-träger von knapp 170 PJ einen Nettorückgang des Endenergieverbrauchs von etwa 500 PJ bewirkt) entfällt ein Anteil von 40 % allein auf die Mineralölprodukte (einschließlich des internationalen Verkehrs). Für das Jahr 2030 erhöht sich dieser Beitrag auf über 44 %. Der zweitgrößte Beitrag der Endenergieeinsparung entfällt auf Erdgas (Anteile am gesamten Minderverbrauch von 34 % in 2020 bzw. etwa 28 % in 2030). Die Minderung der Stromnachfrage trägt mit knapp 17 % (2020) bzw. 14 % (2030) zur Minderung des Endenergieverbrauchs bei, der Erhöhungsbeitrag von Fern- und Nahwärme ist vor allem für den Zeithorizont 2020 (25 %) relevant, bis 2030 sind es nur noch 4 %

Eine Analyse der Sektoranteile an der Endverbrauchsminderung zeigt die herausragende Rolle des Gebäudesektors. Auf die privaten Haushalte entfällt am gesamten Verbrauchsrückgang ein Anteil von etwa 39 % (2020) und 43 % (2030), auf den GHD-Sektor (mit erheblichen Raumwärmeanteilen) entfallen Beiträge von 14 % (2020) bzw. 18 % (2030). Die Minderungsbeiträge des nationalen Verkehrs bleiben konstant bei 24 % zwischen den Jahren 2020 und 2030. Deutlich geringer fallen die Beiträge der Industrie am Verbrauchsrückgang aus, hier ergeben sich Anteile am gesamten Verbrauchsrückgang für Endenergie von 15 % (2020) bzw. 10 % (2030).

### 3.11 Gesamte energiebedingte Treibhausgasemissionen

#### 3.11.1 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 APS und das EWS sind – einschließlich der dem internationalen Verkehr zuzurechnenden Emissionen – in Tab. 3-126 zusammengestellt. Von 2008 bis 2020 werden im APS Emissionsminderungen von 122 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. erzielt, bis 2030 erhöht sich die entsprechende Emissionsminderung auf 235 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. Im EWS geht der Ausstoß von Treibhausgasen von 2008 bis 2020 um 215 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. und bis 2030 um über 400 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. zurück. 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.

Tab. 3-126: Emissionseinsparungen für die gesamten Verbrennungsprozesse im Vergleich der Szenarien, 1990-2030

|  | 1990                     | 2005    | 2008    | 2015                     | 2020    | 2025    | 2030    |
|--|--------------------------|---------|---------|--------------------------|---------|---------|---------|
|  | kt CO <sub>2</sub> -Äqu. |         |         |                          |         |         |         |
| CO <sub>2</sub> -Emissionen  |                          |         |         |                          |         |         |         |
| Entwicklung 1990 - 2008  | 997.202                  | 833.310 | 822.977 |                          |         |         |         |
| Aktuelle-Politik-Szenario  |                          |         |         | 771.759                  | 701.007 | 668.577 | 588.798 |
| Energiewende-Szenario  |                          |         |         | 725.776                  | 608.277 | 528.580 | 423.341 |
| CH <sub>4</sub> -Emissionen  |                          |         |         |                          |         |         |         |
| Entwicklung 1990 - 2008  | 4.650                    | 1.893   | 2.553   |                          |         |         |         |
| Aktuelle-Politik-Szenario  |                          |         |         | 2.972                    | 3.276   | 3.309   | 3.351   |
| Energiewende-Szenario  |                          |         |         | 2.983                    | 3.305   | 3.267   | 3.127   |
| N <sub>2</sub> O-Emissionen  |                          |         |         |                          |         |         |         |
| Entwicklung 1990 - 2008  | 7.747                    | 6.653   | 6.562   |                          |         |         |         |
| Aktuelle-Politik-Szenario  |                          |         |         | 6.354                    | 5.862   | 5.691   | 4.876   |
| Energiewende-Szenario  |                          |         |         | 5.896                    | 5.028   | 4.506   | 3.641   |
| Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O   |                          |         |         |                          |         |         |         |
| Entwicklung 1990 - 2008  | 1.009.599                | 841.856 | 832.092 |                          |         |         |         |
| Aktuelle-Politik-Szenario  |                          |         |         | 781.085                  | 710.145 | 677.577 | 597.024 |
| Energiewende-Szenario  |                          |         |         | 734.655                  | 616.611 | 536.354 | 430.109 |
| Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O   |                          |         |         | Veränderung ab 1990 in % |         |         |         |
| Aktuelle-Politik-Szenario  |                          |         |         | -22,6                    | -29,7   | -32,9   | -40,9   |
| Energiewende-Szenario  |                          |         |         | -27,2                    | -38,9   | -46,9   | -57,4   |
| Summe CO <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub> O   |                          |         |         | Veränderung ab 2005 in % |         |         |         |
| Aktuelle-Politik-Szenario  |                          |         |         | -7,2                     | -15,6   | -19,5   | -29,1   |
| Energiewende-Szenario  |                          |         |         | -12,7                    | -26,8   | -36,3   | -48,9   |
| Anmerkungen: nur energiebedingte Emissionen in der Abgrenzung des NIR; mit CO <sub>2</sub> -Emissionen aus der Rauchgasentschwefelung sowie mit internationalem Flugverkehr und Hochseeschifffahrt |                          |         |         |                          |         |         |         |

Quellen: UBA (2011a+b), Berechnungen von IEK-STE, Fraunhofer ISI und Öko-Institut.

Von 2005 bis 2020 werden im APS Emissionsminderungen aus Verbrennungsprozessen von knapp 16 % erwartet, im EWS erhöht sich dieser Betrag auf knapp 27 %. Für 2030 werden im Vergleich zu 2005 Emissionsminderungen von 29 % (APS) bzw. von etwa 49 % (EWS) 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 APS von 1990 bis 2020 um knapp 30 % zurückgeführt, im EWS beträgt der entsprechende Minderungsbeitrag fast 39 %. Die entsprechenden Emissionsminderungen für 2030 liegen bei knapp 41 bzw. etwa 57 %.

### 3.11.2 Flüchtige Treibhausgas-Emissionen des Energiesektors

#### Rahmendaten und Maßnahmen

Ein wesentlicher Teil der flüchtigen Treibhausgas-Emissionen aus dem Energiesektor entstammt dem Steinkohlenbergbau. Mit der sog. kohlepolitischen Verständigung vom 7. Februar 2007 (und der Streichung der Überprüfungs Klausel im Jahr 2011) wurde eine Vereinbarung zum Auslaufen der deutschen Steinkohlenförderung getroffen, die zur Beendigung des aktiven Steinkohlenbergbaus in Deutschland bis 2018 führt.<sup>49</sup>

Vor dem Hintergrund dieser Vereinbarung wird sowohl im Aktuelle-Politik-Szenario (APS) als auch im Energiewende-Szenario (EWS) 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.

Darüber hinaus entstehen flüchtige Emissionen von CO<sub>2</sub> und N<sub>2</sub>O im Energiesektors bei der Förderung, dem Transport und der Verteilung von Mineralöl und Erdgas, diese spielen zum Vergleich zu den CH<sub>4</sub>-Emissionen jedoch nur eine untergeordnete Rolle und wurden mit der gleichen Fortschreibungsmethode ermittelt.

#### Methodik

Die flüchtigen Emissionen aus dem Energiesektor – für Deutschland betrifft dies vor allem 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>49</sup> Eckpunkte einer kohlepolitischen Verständigung von Bund, Land Nordrhein-Westfalen (NRW) und Saarland, RAG AG und IGBCE. 7. Februar 2007.

## 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 Prognos/EWI/GWS (2010) 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 3.10.1) die zentralen Bestimmungsgrößen für die flüchtigen CH<sub>4</sub>-Sektoren des Energiesektors.

## Ergebnisse der Projektionen

Tab. 3-127 zeigt die Entwicklung der flüchtigen Treibhausgas-Emissionen aus den Energiesektoren für das APS. Der gesamte Emissionsrückgang von ca. 9 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 Emissionen ergeben sich weiterhin für die Minderung der CH<sub>4</sub>-Emissionen aus der Erdgasproduktion und -verteilung, in der der Rückgang der Erdgaserzeugung sowie des Erdgaseinsatzes in den privaten Haushalten sowie im GHD-Sektor im Zeitraum 2005 bis 2030 auch zu verminderten Emissionen von ca. 1,6 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. führt. Darüber hinaus führt die rückläufige Erdgasproduktion auch zu einer Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Erdgasförderung und -aufbereitung, die sich für den Zeitraum 2005 bis 2030 auf mehr als 1 Mio. t CO<sub>2</sub> beziffern lässt.

Insgesamt gehen die flüchtigen Treibhausgas-Emissionen des Energiesektors im Zeitraum 2005 bis 2020 im Aktuelle-Politik-Szenario um ca. knapp 48 % und bis 2030 um fast 56 % zurück.

Obwohl sich das Energieaufkommen im Energiewende-Szenario (EWS) deutlich ändert, bleiben die Auswirkungen auf die flüchtigen Treibhausgas-Emissionen des Energiesektors eher begrenzt (Tab. 2-112). Dies begründet sich vor allem aus der dominierenden Rolle der Steinkohlenförderungen für diesen Quellbereich. Angesichts der im Vergleich zum APS unveränderten Trajektorie für die deutsche Steinkohleförderung ergeben sich hier im EWS 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 4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. und damit mehr als 1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. unter dem Vergleichswert für das APS.

Insgesamt gehen die flüchtigen CH<sub>4</sub>-Emissionen des Energiesektors im Zeitraum 2005 bis 2030 im EWS um etwa 10 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. bzw. um fast 65 % zurück.

Tab. 3-127: Entwicklung der flüchtigen Treibhausgasemissionen des Energiesektors im Aktuelle-Politik-Szenario, 2000-2030

|   | 2000            | 2005        | 2008             | 2009             | 2015             | 2020            | 2025            | 2030            |
|---|-----------------|-------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|   | kt              |             |                  |                  |                  |                 |                 |                 |
| <i>CH<sub>4</sub>-Emissionen</i>              |                 |             |                  |                  |                  |                 |                 |                 |
| Aktiver Kohlenbergbau                         |                 |             |                  |                  |                  |                 |                 |                 |
| <i>Steinkohlen-Tiefbau</i>                    | 439,8           | 254,5       | 166,6            | 121,8            | 80,2             | 0,0             | 0,0             | 0,0             |
| <i>Steinkohlen-Aufbereitung</i>               | 19,3            | 14,3        | 9,8              | 7,9              | 4,7              | 0,0             | 0,0             | 0,0             |
| <i>Braunkohlen-Tagebau</i>                    | 1,8             | 2,0         | 1,9              | 1,9              | 1,9              | 1,4             | 1,2             | 0,9             |
| Umwandlung von Kohle                          | 0,4             | 0,4         | 0,4              | 0,3              | 0,3              | 0,3             | 0,3             | 0,2             |
| Stillgelegte Zechen                           | 129,1           | 2,9         | 5,0              | 3,6              | 5,0              | 5,0             | 5,0             | 5,0             |
| Ölförderung und -bereitstellung               |                 |             |                  |                  |                  |                 |                 |                 |
| <i>Exploration</i>                            | 0,0             | 0,0         | 0,0              | 0,0              | 0,0              | 0,0             | 0,0             | 0,0             |
| <i>Produktion</i>                             | 8,5             | 9,7         | 8,3              | 7,6              | 6,4              | 4,8             | 3,2             | 1,6             |
| <i>Transport</i>                              | 0,6             | 0,7         | 0,7              | 0,7              | 0,6              | 0,6             | 0,6             | 0,5             |
| <i>Lagerung</i>                               | 11,7            | 11,0        | 10,6             | 10,4             | 9,7              | 9,2             | 8,8             | 8,3             |
| <i>Verteilung von Ölprodukten</i>             | 4,1             | 2,2         | 1,8              | 1,7              | 1,4              | 1,2             | 1,0             | 0,8             |
| Erdgas  |                 |             |                  |                  |                  |                 |                 |                 |
| <i>Produktion</i>                             | 56,8            | 53,2        | 43,8             | 40,9             | 36,5             | 32,1            | 27,6            | 18,7            |
| <i>Transport</i>                              | 37,7            | 41,3        | 40,0             | 39,0             | 37,8             | 37,2            | 35,7            | 34,9            |
| <i>Verteilung</i>                             | 192,3           | 190,9       | 190,9            | 191,6            | 185,7            | 177,9           | 170,2           | 162,4           |
| <i>Andere Leckagen</i>                        | 58,5            | 56,9        | 56,3             | 57,6             | 54,8             | 52,5            | 50,2            | 47,9            |
| Fackeln                                       |                 |             |                  |                  |                  |                 |                 |                 |
| <i>Öl</i>                                     | 0,1             | 0,1         | 0,1              | 0,1              | 0,1              | 0,1             | 0,1             | 0,1             |
| <i>Gas</i>                                    | 0,0             | 0,0         | 0,0              | 0,0              | 0,0              | 0,0             | 0,0             | 0,0             |
| Zwischensumme CH <sub>4</sub>                 | 961             | 640         | 536              | 485              | 425              | 322             | 304             | 281             |
| <i>CO<sub>2</sub>-Emissionen</i>              |                 |             |                  |                  |                  |                 |                 |                 |
| Ölförderung und -bereitstellung               |                 |             |                  |                  |                  |                 |                 |                 |
| <i>Exploration</i>                            | 1               | 1           | 1                | 1                | 1                | 1               | 0               | 0               |
| <i>Produktion</i>                             | 0,0             | 0,0         | 0,0              | 0,0              | 0,0              | 0,0             | 0,0             | 0,0             |
| <i>Transport</i>                              | 1,0             | 1,1         | 1,0              | 0,9              | 0,7              | 0,5             | 0,4             | 0,2             |
| Erdgas  |                 |             |                  |                  |                  |                 |                 |                 |
| <i>Produktion</i>                             | 1.873           | 1.754       | 1.445            | 1.351            | 1.205            | 1.058           | 911             | 617             |
| Fackeln                                       |                 |             |                  |                  |                  |                 |                 |                 |
| <i>Öl</i>                                     | 325             | 344         | 326              | 306              | 326              | 326             | 326             | 326             |
| <i>Gas</i>                                    | 300,8           | 321,7       | 307,1            | 288,6            | 307,1            | 307,1           | 307,1           | 307,1           |
| Zwischensumme CO <sub>2</sub>                 | 2.199           | 2.099       | 1.772            | 1.658            | 1.531            | 1.384           | 1.237           | 943             |
| <i>N<sub>2</sub>O-Emissionen</i>              |                 |             |                  |                  |                  |                 |                 |                 |
| Fackeln                                       |                 |             |                  |                  |                  |                 |                 |                 |
| <i>Öl</i>                                     | 0,003           | 0,004       | 0,003            | 0,003            | 0,003            | 0,003           | 0,003           | 0,003           |
| <i>Gas</i>                                    | 0,0             | 0,0         | 0,0              | 0,0              | 0,0              | 0,0             | 0,0             | 0,0             |
| Zwischensumme N <sub>2</sub> O                | 0               | 0           | 0                | 0                | 0                | 0               | 0               | 0               |
| Summe (kt CO <sub>2</sub> -Äqu.)<br>ggü. 2005 | 22.375<br>44,0% | 15.540<br>- | 13.035<br>-16,1% | 11.848<br>-23,8% | 10.459<br>-32,7% | 8.149<br>-47,6% | 7.617<br>-51,0% | 6.855<br>-55,9% |

Quellen: UBA (2011a+b), Berechnungen des Öko-Instituts.

Tab. 3-128: Entwicklung der flüchtigen Treibhausgasemissionen des Energiesektors im Energiewende-Szenario, 2000-2030

|   | 2000            | 2005        | 2008             | 2009             | 2015             | 2020            | 2025            | 2030            |
|---|-----------------|-------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|   | kt              |             |                  |                  |                  |                 |                 |                 |
| <i>CH<sub>4</sub>-Emissionen</i>              |                 |             |                  |                  |                  |                 |                 |                 |
| Aktiver Kohlenbergbau                         |                 |             |                  |                  |                  |                 |                 |                 |
| <i>Steinkohlen-Tiefbau</i>                    | 439,8           | 254,5       | 166,6            | 121,8            | 80,2             | 0,0             | 0,0             | 0,0             |
| <i>Steinkohlen-Aufbereitung</i>               | 19,3            | 14,3        | 9,8              | 7,9              | 4,7              | 0,0             | 0,0             | 0,0             |
| <i>Braunkohlen-Tagebau</i>                    | 1,8             | 2,0         | 1,9              | 1,9              | 1,8              | 1,2             | 0,9             | 0,5             |
| Umwandlung von Kohle                          | 0,4             | 0,4         | 0,4              | 0,3              | 0,3              | 0,3             | 0,2             | 0,2             |
| Stillgelegte Zechen                           | 129,1           | 2,9         | 5,0              | 3,6              | 5,0              | 5,0             | 5,0             | 5,0             |
| Ölförderung und -bereitstellung               |                 |             |                  |                  |                  |                 |                 |                 |
| <i>Exploration</i>                            | 0,0             | 0,0         | 0,0              | 0,0              | 0,0              | 0,0             | 0,0             | 0,0             |
| <i>Produktion</i>                             | 8,5             | 9,7         | 8,3              | 7,6              | 6,4              | 4,8             | 3,2             | 1,6             |
| <i>Transport</i>                              | 0,6             | 0,7         | 0,7              | 0,7              | 0,6              | 0,6             | 0,5             | 0,4             |
| <i>Lagerung</i>                               | 11,7            | 11,0        | 10,6             | 10,4             | 9,4              | 8,4             | 7,2             | 5,9             |
| <i>Verteilung von Ölprodukten</i>             | 4,1             | 2,2         | 1,8              | 1,7              | 1,4              | 1,1             | 0,9             | 0,8             |
| Erdgas  |                 |             |                  |                  |                  |                 |                 |                 |
| <i>Produktion</i>                             | 56,8            | 53,2        | 43,8             | 40,9             | 36,5             | 32,1            | 27,6            | 18,7            |
| <i>Transport</i>                              | 37,7            | 41,3        | 40,0             | 39,0             | 36,9             | 34,7            | 31,5            | 29,5            |
| <i>Verteilung</i>                             | 192,3           | 190,9       | 190,9            | 191,6            | 179,9            | 161,4           | 139,6           | 119,4           |
| <i>Andere Leckagen</i>                        | 58,5            | 56,9        | 56,3             | 57,6             | 53,1             | 47,6            | 41,2            | 35,2            |
| Fackeln                                       |                 |             |                  |                  |                  |                 |                 |                 |
| <i>Öl</i>                                     | 0,1             | 0,1         | 0,1              | 0,1              | 0,1              | 0,1             | 0,1             | 0,1             |
| <i>Gas</i>                                    | 0,0             | 0,0         | 0,0              | 0,0              | 0,0              | 0,0             | 0,0             | 0,0             |
| Zwischensumme CH <sub>4</sub>                 | 961             | 640         | 536              | 485              | 416              | 297             | 258             | 217             |
| <i>CO<sub>2</sub>-Emissionen</i>              |                 |             |                  |                  |                  |                 |                 |                 |
| Ölförderung und -bereitstellung               |                 |             |                  |                  |                  |                 |                 |                 |
| <i>Exploration</i>                            | 1               | 1           | 1                | 1                | 1                | 1               | 0               | 0               |
| <i>Produktion</i>                             | 0,0             | 0,0         | 0,0              | 0,0              | 0,0              | 0,0             | 0,0             | 0,0             |
| <i>Transport</i>                              | 1,0             | 1,1         | 1,0              | 0,9              | 0,7              | 0,5             | 0,4             | 0,2             |
| Erdgas  |                 |             |                  |                  |                  |                 |                 |                 |
| <i>Produktion</i>                             | 1.873           | 1.754       | 1.445            | 1.351            | 1.205            | 1.058           | 911             | 617             |
| Fackeln                                       |                 |             |                  |                  |                  |                 |                 |                 |
| <i>Öl</i>                                     | 325             | 344         | 326              | 306              | 326              | 326             | 326             | 326             |
| <i>Gas</i>                                    | 300,8           | 321,7       | 307,1            | 288,6            | 307,1            | 307,1           | 307,1           | 307,1           |
| Zwischensumme CO <sub>2</sub>                 | 2.199           | 2.099       | 1.772            | 1.658            | 1.531            | 1.384           | 1.237           | 943             |
| <i>N<sub>2</sub>O-Emissionen</i>              |                 |             |                  |                  |                  |                 |                 |                 |
| Fackeln                                       |                 |             |                  |                  |                  |                 |                 |                 |
| <i>Öl</i>                                     | 0,003           | 0,004       | 0,003            | 0,003            | 0,003            | 0,003           | 0,003           | 0,003           |
| <i>Gas</i>                                    | 0,0             | 0,0         | 0,0              | 0,0              | 0,0              | 0,0             | 0,0             | 0,0             |
| Zwischensumme N <sub>2</sub> O                | 0               | 0           | 0                | 0                | 0                | 0               | 0               | 0               |
| Summe (kt CO <sub>2</sub> -Äqu.)<br>ggü. 2005 | 22.375<br>44,0% | 15.540<br>- | 13.035<br>-16,1% | 11.848<br>-23,8% | 10.277<br>-33,9% | 7.626<br>-50,9% | 6.654<br>-57,2% | 5.507<br>-64,6% |

Quellen: UBA (2011a+b), Berechnungen des Öko-Instituts.

## 4 Projektionen der nicht-energiebedingten Emissionen

### 4.1 Industrieprozesse (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O)

#### 4.1.1 Rahmendaten und Maßnahmen

##### Aktuelle-Politik-Szenario

Im Aktuelle-Politik-Szenario werden für die nicht-energiebedingten Treibhausgasemissionen aus Industrieprozessen die folgenden Maßnahmen spezifisch analysiert:

- a) **Einbeziehung ausgewählter N<sub>2</sub>O-Punktquellen in den EU ETS:** Ab 2013 werden eine Reihe von N<sub>2</sub>O-Punktquellen in das europäische Emissionshandelssystem einbezogen (Adipin- und Salpetersäureproduktion, Herstellung von Glyoxal und Glyoxylsäure). Die entsprechenden (zusätzlichen) Emissionsminderungsmaßnahmen werden einer Bewertung im Vergleich zum EUA-Preis (siehe übergreifende Instrumente) unterzogen und ihre Implementierung entsprechend modelliert. Das konkrete Zuteilungsmodell für diese Quellbereiche spielt für diese Modellierung keine wesentliche Rolle, da sich die Wirtschaftlichkeit der Emissionsminderungsmaßnahmen unter Berücksichtigung der Opportunitätskosten der ggf. kostenlos zugeteilten Emissionsberechtigungen ergibt.
- b) **Novelle der TA Luft:** Für die Übergangszeit bis 2013 ist darüber hinaus zu berücksichtigen, dass mit der novellierten Technischen Anleitung Luft (TA Luft 2002) ab 2010 für die bestehenden Anlagen der Salpetersäureproduktion der seit 2002 für Neuanlagen geltende Emissionsgrenzwert von 800 mg N<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup> einzuhalten ist.

##### Energiewende-Szenario

Im Energiewende-Szenario werden für die prozessbedingten Emissionen des Industriesektors die folgenden Maßnahmen untersucht:

- a) **Einbeziehung ausgewählter N<sub>2</sub>O-Punktquellen in den EU ETS unter Berücksichtigung der höheren Zertifikatspreise des EWS:** Die Emissionsminderungsmaßnahmen für den Kreis der bereits im APS berücksichtigten N<sub>2</sub>O-Quellen werden unter Ansatz der für das EWS vereinbarten (höheren) Zertifikatspreise (siehe übergreifende Instrumente) modelliert.
- b) **Maßnahmengetriebene Integration von CCS** (für CO<sub>2</sub> aus Industrieprozessen sowie im Zusammenhang mit der Biomasse-Umwandlung). Hierbei wird angenommen, dass die relevanten Prozesse sukzessive auf CCS umgestellt werden können. Diese Umstellung wird hier jedoch nicht instrumentenspezifisch (Ordnungsrecht, ökonomische Anreize durch Emissionshandel, Anreizprogramm usw.), sondern als Sensitivität für die Markteinführung einer verfügbaren technischen Option – auch mit Blick auf die zeitliche Verfügbarkeit – im Rahmen des EWS modelliert.

## 4.1.2 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 Aktuelle-Politik-Szenario- und im Energiewende-Szenarios 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 2008 konstant gehalten.

Die prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen ergeben sich damit stets aus den zu Grunde gelegten Produktionsmengen, die entweder exogen vorgegeben sind, oder konstant gehalten werden bzw. über die modellendogen ermittelten (Energie-) Produktionsniveaus ermittelt werden.

Hinsichtlich der Projektion (Tab. 4-2) für die prozessbedingten N<sub>2</sub>O- und CH<sub>4</sub>-Emissionen wurden die folgenden Annahmen getroffen:

- 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.
- Die übrigen erfassten Quellgruppen haben einen so geringen Beitrag zu den Emissionen, dass die Emissionsniveaus für den Projektionszeitraum konstant gehalten wurden.

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 2008 konstant gehalten.

Für die Adipin- und Salpetersäureproduktion wurde der Projektion die Annahme zu Grunde gelegt, dass sich eine moderate Produktionszunahme vollziehen wird. Im Jahr 2030 wird danach das Produktionsniveau des Jahres 2008 der Adipinsäureproduktion um etwa den Faktor 1,4 ausgeweitet sein, während die entsprechende Produktion von Salpetersäure bis zum Jahr 2030 nur um 5 % ansteigt.

## 4.1.3 Annahmen und Parameter und Ergebnisse der Projektionen

### Aktuelle-Politik-Szenario

Mit Blick auf die besonders relevanten prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen können im APS bedingt durch leichte Produktionsrückgänge die Emissionen um 12 % bis 2030 im Vergleich zum Jahr 2008 gesenkt werden (Tab. 4-1).

**Tab. 4-1: Entwicklung der prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen für ausgewählte Produktionsprozesse im Aktuelle-Politik-Szenario, 2000-2030**

|  | 2000                 | 2005   | 2008   | 2009   | 2015   | 2020   | 2025   | 2030   |
|--|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|  | kt t CO <sub>2</sub> |        |        |        |        |        |        |        |
| Zementklinkerproduktion (2A)   | 15.102               | 12.921 | 13.444 | 12.313 | 12.668 | 12.609 | 12.178 | 11.725 |
| Kalksteinproduktion (2A)   | 5.862                | 5.454  | 5.702  | 4.539  | 5.552  | 5.552  | 5.552  | 5.552  |
| Glasproduktion (2A)  | 731                  | 706    | 754    | 679    | 791    | 810    | 828    | 848    |
| Keramikproduktion (2A)   | 531                  | 359    | 335    | 318    | 335    | 335    | 335    | 335    |
| Sodaasche (2A)   | 231                  | 262    | 260    | 225    | 260    | 260    | 260    | 260    |
| Ammoniakproduktion (2B)  | 7.539                | 7.805  | 7.417  | 6.845  | 7.417  | 7.417  | 7.417  | 7.417  |
| Karbidproduktion (2B)  | 18                   | 16     | 22     | 16     | 22     | 22     | 22     | 22     |
| Katalysatorenabbbrand (2B)   | 2.894                | 2.883  | 2.983  | 2.974  | 2.715  | 2.571  | 2.455  | 2.337  |
| Umwandlungsverluste (2B)   | 3.760                | 3.776  | 3.776  | 3.776  | 3.436  | 3.253  | 3.107  | 2.958  |
| Methanolherstellung (2B)   | 1.264                | 1.314  | 1.125  | 1.033  | 1.125  | 1.125  | 1.125  | 1.125  |
| Rußproduktion (2B)   | 678                  | 652    | 1.189  | 967    | 1.189  | 1.189  | 1.189  | 1.189  |
| Eisen- und Stahl-Produktion (2C)   | 20.263               | 20.929 | 19.092 | 11.669 | 15.223 | 15.643 | 15.903 | 15.887 |
| Herstellung von Ferrolegierungen (2C)  | 9                    | 8      | 8      | 8      | 8      | 8      | 8      | 8      |
| (Primär-) Aluminium-Produktion (2C)  | 880                  | 883    | 828    | 399    | 698    | 752    | 708    | 664    |
| Summe  | 59.762               | 57.968 | 56.935 | 45.761 | 51.439 | 51.545 | 51.087 | 50.326 |
| ggü. 2008  | 5,0%                 | 1,8%   | -      | -19,6% | -9,7%  | -9,5%  | -10,3% | -11,6% |
| Nachr.: REA <sup>a</sup>   | 1.135                | 1.142  | 1.013  | 1.024  | 1.076  | 821    | 737    | 514    |
| 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 (2011a+b), Statistisches Bundesamt, FhG-ISI, Berechnungen des Öko-Instituts.

Seit dem Jahr 2008 können Joint-Implementation-Projekte in Deutschland durchgeführt werden. Für die Adipinsäureproduktion berücksichtigen wir aufgrund aktueller Erfahrungen aus den Joint-Implementation-Projekten eine Emissionsminderung in Höhe von 50% im Vergleich zu 2009 für die Salpetersäureproduktion und 80% für die Adipinsäureproduktion.

**Tab. 4-2: Entwicklung der CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung im Aktuelle-Politik-Szenario, 2000-2030**

|  | 2000   | 2005   | 2008   | 2009   | 2015   | 2020   | 2025   | 2030   |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|  | kt     |        |        |        |        |        |        |        |
| <i>CH<sub>4</sub>-Emissionen</i>               |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Rußproduktion                                  | 0,01   | 0,01   | 0,02   | 0,01   | 0,02   | 0,02   | 0,02   | 0,02   |
| Eisen- und Stahlproduktion                     | 0,26   | 0,22   | 0,23   | 0,17   | 0,23   | 0,24   | 0,24   | 0,23   |
| Zwischensumme CH <sub>4</sub>                  | 0,27   | 0,23   | 0,25   | 0,18   | 0,25   | 0,25   | 0,25   | 0,25   |
| <i>N<sub>2</sub>O-Emissionen</i>               |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Rohstahlherstellung                            | 0,1    | 0,1    | 0,1    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    |
| Salpetersäureproduktion                        | 12,3   | 15,9   | 13,6   | 10,7   | 7,1    | 7,1    | 7,1    | 7,1    |
| Adipinsäureherstellung                         | 4,5    | 10,6   | 17,7   | 27,6   | 3,1    | 3,4    | 3,8    | 4,2    |
| Herstellung von Caprolactam                    | NO     |
| Herstellung von N-Dodecandisäure               | C      | C      | C      | C      | C      | C      | C      | C      |
| N <sub>2</sub> O-Einsatz als Anästhetika       | 3,5    | 1,3    | 1,1    | 1,0    | 1,1    | 1,1    | 1,1    | 1,1    |
| Anderer (technischer) N <sub>2</sub> O-Einsatz | 0,2    | 0,2    | 0,2    | 0,2    | 0,2    | 0,2    | 0,2    | 0,2    |
| N <sub>2</sub> O aus Sprengstoffeinsatz        | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    |
| Zwischensumme N <sub>2</sub> O                 | 20,6   | 28,0   | 32,7   | 39,6   | 11,5   | 11,8   | 12,2   | 12,6   |
| Summe (kt CO <sub>2</sub> -Äqu.)               | 6.392  | 8.699  | 10.131 | 12.270 | 3.578  | 3.675  | 3.782  | 3.900  |
| ggü. 2008                                      | -47,9% | -29,1% | -17,4% | -      | -70,8% | -70,0% | -69,2% | -68,2% |

Quellen: UBA (2011 a+b), EWI/, Prognos (2006), Berechnungen des Öko-Instituts.

### Energiewende-Szenario

Im EWS wird die Einführung von CCS für prozessbedingte Emissionen ab 2030 und weitergehende Emissionsminderungen bei den industriellen N<sub>2</sub>O-Emissionen berücksichtigt. Dabei wird CCS nur Sektoren mit hohen absoluten Emissionen berücksichtigt (>1 Mio. t). Der Katalysatorenabbrand, die Umwandlungsverluste und die Rußproduktion werden nicht berücksichtigt, da nicht sicher ist, ob das CO<sub>2</sub> in einer höheren Konzentration als in Kohlekraftwerken anfällt. Eine hohe CO<sub>2</sub>-Konzentration im Abgasstrom ist eine wichtige Voraussetzung für CCS in Industrieprozessen, weil dies den Energiebedarf für die Abtrennung und die Investitionskosten senkt.

Definitionsgemäß erfolgt die Einführung von CCS maßnahmengetrieben. Dies bedeutet, dass CCS in allen Sektoren, in denen prinzipiell CCS möglich ist, eingeführt wird. Aufgrund der langen Vorlaufzeiten für die Genehmigung von Speichern wird angenommen, dass der Einsatz von CCS im Jahr 2030 beginnt. Es wird davon ausgegangen, dass CCS gleichmäßig in allen Sektoren mit CO<sub>2</sub>-Emissionen mit hoher CO<sub>2</sub>-Konzentration in 2030 im Umfang von 20 % der Emissionen zur Anwendung kommt (Tab. 4-3). Für die Herstellung von Eisen und Stahl wurde die Anwendung von CCS sowohl für die prozessbedingten als auch die energiebedingten Emissionen modelliert.

**Tab. 4-3: Mit CCS abgeschiedene prozessbedingte CO<sub>2</sub>-Mengen. Enthält für die Produktion von Eisen und Stahl auch energiebedingte Emissionen, 2000-2030.**

|                      | 2000                   | 2005 | 2008 | 2009 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|----------------------|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
|                      | Mio. t CO <sub>2</sub> |      |      |      |      |      |      |      |
| Zement               |                        |      |      |      |      |      |      | 2,3  |
| Kalkstein            |                        |      |      |      |      |      |      | 1,1  |
| Glas                 |                        |      |      |      |      |      |      |      |
| Ziegel               |                        |      |      |      |      |      |      |      |
| Ammoniak             |                        |      |      |      |      |      |      | 1,5  |
| Karbid               |                        |      |      |      |      |      |      |      |
| Katalysatorenabbrand |                        |      |      |      |      |      |      |      |
| Umwandlungsverluste  |                        |      |      |      |      |      |      |      |
| Methanol             |                        |      |      |      |      |      |      | 0,2  |
| Ruß                  |                        |      |      |      |      |      |      |      |
| Sodaasche            |                        |      |      |      |      |      |      |      |
| Eisen und Stahl      |                        |      |      |      |      |      |      | 7,1  |
| Ferrolegerungen      |                        |      |      |      |      |      |      |      |
| Hüttenaluminium      |                        |      |      |      |      |      |      |      |
| Gesamt               |                        |      |      |      |      |      |      | 12,3 |

Quellen: Berechnungen des Öko-Instituts.

Außerdem sinken die prozessbedingten Emissionen im hier behandelten Bereich, da aufgrund einer Verringerung des Ölverbrauchs im EWS die Emissionen aus dem Katalysatorenabbrand und den Umwandlungsverlusten zurückgehen. Insgesamt sind die prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen im EWS im Jahr 2030 10 Mio. t CO<sub>2</sub> niedriger als im APS (Tab. 4-4).

**Tab. 4-4: Entwicklung der prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen für ausgewählte Produktionsprozesse im Energiewende-Szenario, 2000-2030**

|  | 2000                 | 2005   | 2008   | 2009   | 2015   | 2020   | 2025   | 2030   |
|--|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|  | kt t CO <sub>2</sub> |        |        |        |        |        |        |        |
| Zementklinkerproduktion (2A)   | 15.102               | 12.921 | 13.444 | 12.313 | 12.668 | 12.609 | 12.178 | 9.380  |
| Kalksteinproduktion (2A)   | 5.862                | 5.454  | 5.702  | 4.539  | 5.552  | 5.552  | 5.552  | 4.441  |
| Glasproduktion (2A)  | 731                  | 706    | 754    | 679    | 791    | 810    | 828    | 848    |
| Keramikproduktion (2A)   | 531                  | 359    | 335    | 318    | 335    | 335    | 335    | 335    |
| Sodaasche (2A)   | 231                  | 262    | 260    | 225    | 260    | 260    | 260    | 260    |
| Ammoniakproduktion (2B)  | 7.539                | 7.805  | 7.417  | 6.845  | 7.417  | 7.417  | 7.417  | 5.934  |
| Karbidproduktion (2B)  | 18                   | 16     | 22     | 16     | 22     | 22     | 22     | 22     |
| Katalysatorenabbrand (2B)  | 2.894                | 2.883  | 2.983  | 2.974  | 2.634  | 2.352  | 2.009  | 1.649  |
| Umwandlungsverluste (2B)   | 3.760                | 3.776  | 3.776  | 3.776  | 3.333  | 2.977  | 2.543  | 2.087  |
| Methanolherstellung (2B)   | 1.264                | 1.314  | 1.125  | 1.033  | 1.125  | 1.125  | 1.125  | 900    |
| Rußproduktion (2B)   | 678                  | 652    | 1.189  | 967    | 1.189  | 1.189  | 1.189  | 1.189  |
| Eisen- und Stahl-Produktion (2C)   | 20.263               | 20.929 | 19.092 | 11.669 | 15.128 | 15.268 | 15.347 | 12.139 |
| Herstellung von Ferrolegierungen (2C)  | 9                    | 8      | 8      | 8      | 8      | 8      | 8      | 8      |
| (Primär-) Aluminium-Produktion (2C)  | 880                  | 883    | 828    | 399    | 698    | 752    | 708    | 664    |
| Summe  | 59.762               | 57.968 | 56.935 | 45.761 | 51.159 | 50.675 | 49.522 | 39.856 |
| ggü. 2008  | 5,0%                 | 1,8%   | -      | -19,6% | -10,1% | -11,0% | -13,0% | -30,0% |
| Nachr.: REA <sup>a</sup>   | 1.135                | 1.142  | 1.013  | 1.024  | 1.004  | 672    | 523    | 300    |
| 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 (2011 a+b), Statistisches Bundesamt, FhG-ISI, Berechnungen des Öko-Instituts.

Das höhere CO<sub>2</sub>-Preis-Niveau im EWS-Szenario führt zu stärkeren Reduktionen der Emissionen bei der Adipin- und Salpetersäureproduktion.

Dabei wird zu Grunde gelegt, dass beide in Deutschland betriebenen Adipinsäureanlagen eine Emissionsreduktion in Höhe von 99,9 % erreichen. Diese Emissionsreduktion basiert auf den Erfahrungen aus der JI-Anlage in Krefeld.

Für die Salpetersäureproduktion wird ebenfalls eine höhere Abscheiderate berücksichtigt. Dabei wird für alle Anlagen der Emissionsfaktor eines erfolgreichen CDM-Projektes einer deutschen Firma (BASF) in Ägypten verwendet. So ergibt sich eine Emissionsreduktion in Höhe von 98 % für die Salpetersäureproduktion.

Im Zeitraum 2005 bis 2030 gehen die gesamten Emissionen im EWS um fast 10 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. zurück. Dies entspricht einer Emissionsminderung von 95 % (Tab. 4-5).

Tab. 4-5: Entwicklung der CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen aus Industrieprozessen und Produktverwendung im Energie-wende-Szenario, 2000-2030

|  | 2000   | 2005   | 2008   | 2009   | 2015   | 2020   | 2025   | 2030   |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|  | kt     |        |        |        |        |        |        |        |
| <i>CH<sub>4</sub>-Emissionen</i>               |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Rußproduktion                                  | 0,01   | 0,01   | 0,02   | 0,01   | 0,02   | 0,02   | 0,02   | 0,02   |
| Eisen- und Stahlproduktion                     | 0,26   | 0,22   | 0,23   | 0,17   | 0,23   | 0,24   | 0,24   | 0,23   |
| Zwischensumme CH <sub>4</sub>                  | 0,27   | 0,23   | 0,25   | 0,18   | 0,25   | 0,25   | 0,25   | 0,25   |
| <i>N<sub>2</sub>O-Emissionen</i>               |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Rohstahlherstellung                            | 0,1    | 0,1    | 0,1    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    |
| Salpetersäureproduktion                        | 12,3   | 15,9   | 13,6   | 10,7   | 0,3    | 0,3    | 0,3    | 0,3    |
| Adipinsäureherstellung                         | 4,5    | 10,6   | 17,7   | 27,6   | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    |
| Herstellung von Caprolactam                    | NO     |
| Herstellung von N-Dodecandisäure               | C      | C      | C      | C      | C      | C      | C      | C      |
| N <sub>2</sub> O-Einsatz als Anästhetika       | 3,5    | 1,3    | 1,1    | 1,0    | 1,1    | 1,1    | 1,1    | 1,1    |
| Anderer (technischer) N <sub>2</sub> O-Einsatz | 0,2    | 0,2    | 0,2    | 0,2    | 0,2    | 0,2    | 0,2    | 0,2    |
| N <sub>2</sub> O aus Sprengstoffeinsatz        | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0    |
| Zwischensumme N <sub>2</sub> O                 | 20,6   | 28,0   | 32,7   | 39,6   | 1,6    | 1,6    | 1,6    | 1,6    |
| Summe (kt CO <sub>2</sub> -Äqu.)               | 6.392  | 8.699  | 10.131 | 12.270 | 513    | 514    | 514    | 515    |
| ggü. 2008                                      | -47,9% | -29,1% | -17,4% | -      | -95,8% | -95,8% | -95,8% | -95,8% |

Quellen: UBA (2011 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 APS und im EWS unterstellten Maßnahmen sowie die nur untergeordneten Emissionsbeiträge der anderen Industrieprozesse weitgehend ausgeschöpft sein.

## 4.2 Industrieprozesse und Produktverwendung (Fluorierte Treibhausgase)

### 4.2.1 Rahmendaten und Maßnahmen

#### Aktuelle-Politik-Szenario

Im Rahmen des Aktuelle-Politik-Szenarios wurden folgende Maßnahmen zur Reduzierung der Emissionen von FKW und HFKW berücksichtigt:

- a) **Wartungspflicht/Dichtheitsprüfungen für ortsfeste Kälte- und Klimaanlage**n, Wärmepumpen und Brandschutzsysteme mit mehr als 3 kg fluorierten Treibhausgasen laut F-Gas-Verordnung (VO 842/2006/EG).
- b) **Wartungspflicht/Dichtheitsprüfungen für mobile Anlagen** mit mehr als 3 kg fluorierten Treibhausgasen, die der Kühlung von Gütern beim Transport dienen, gemäß der Chemikalien-Klimaschutzverordnung (ChemKlimaschutzV).
- c) **Einhaltung maximaler Leckageraten** für ortsfeste Anwendungen gemäß Chemikalien-Klimaschutzverordnung.
- d) **Verwendungsverbote** laut Verordnung 842/2006/EG für synthetische Treibhausgase in den Erzeugnissen/Einrichtungen: neuartige Aerosole, Autoreifen, Schuhe, Schallschutzscheiben, Brandschutzsysteme (FKW) und Feuerlöscher (FKW). Weitgehende Substitution als Treibmittel in Einkomponentenschäumen (PU-Montageschäume).
- e) **Emissionsminderung bei fluorierten Treibhausgasen in der Halbleiterherstellung** (freiwillig).
- f) **Einbezug der F-Gas-Emissionen der Primäraluminiumindustrie in den europäischen Emissionshandel.**
- g) **Substitution von HFKW durch Kältemittel mit einem GWP kleiner 150 sowie Verbesserung der Dichtheit bei mobilen Klimaanlage**n für ausgewählte Fahrzeugklassen (Pkw und kleine Nutzfahrzeuge) laut Richtlinie 2006/40/EG (MAC-Richtlinie): ab 2011 für neue Fahrzeugtypen, ab 2017 für alle neuen Fahrzeuge dieser Klasse.
- h) **Förderung von Maßnahmen, die zu einer vorzeitigen Substitution von HFKW durch Kältemittel mit einem GWP kleiner 150 bei Pkw-Klimaanlagen führen** (Meseberg-Beschluss Nr. 23): Hier ist bisher keine Umsetzung erfolgt.
- i) **Förderung der Entwicklung und Markteinführung besonders energieeffizienter und klimafreundlicher Kälteanlagen mit natürlichen Kältemitteln im Rahmen des Klimaschutz-Effizienz-Fonds** (Meseberg-Beschluss Nr. 23, bisher umgesetzt durch das Förderprogramm „Gewerbliche Kälteanlagen“ der Nationalen Klimaschutzinitiative)

Als Maßnahmen zur Reduktion der Emissionen von SF<sub>6</sub> wurden die folgenden Maßnahmen berücksichtigt:

- j) **Substitution von SF<sub>6</sub> als Schutzgas in großen Produktionsstätten** (jährlich verwendete Menge an SF<sub>6</sub> über 850 kg) der Magnesium-Produktion (Magnesiumdruckguss) laut Verordnung 842/2006/EG
- k) **Selbstverpflichtung deutscher Schaltanlagenhersteller, -nutzer und SF<sub>6</sub>-Produzenten zu SF<sub>6</sub>-Emissionsbegrenzungsmaßnahmen bei elektrischen Betriebsmitteln**

## Energiewende-Szenario

Für das EWS wurden folgende, über das Aktuelle-Politik-Szenario hinausgehende Maßnahmen angenommen:

- a) **Verzicht auf Neuanlagen mit fluorierten Kältemitteln in bestehenden und neuen Supermärkten**
- b) **Ergänzung des Anhangs II der Verordnung 842/2006/EG** (Verbot des Inverkehrbringens F-gase enthaltender Geräte) um die Anwendungsbereiche:
  - Haushaltskühlgeräte
  - steckerfertige Geräten in der Gewerbekälte
- c) **Verzicht auf H-FKW** bei
  - PU-Schaumprodukten
  - XPS-Hartschäumen
  - mobilen Raumklimageräten
  - Haushaltswärmepumpen
- d) **Verzicht auf die Verwendung fluorierter Kältemittel mit einem GWP  $\geq 20$**  in Neuanlagen der Gebäudeklimatisierung und der Industriekühlung
- e) **Verwendung von HFKW in Aerosolen** (Dosier- und technische Aerosole) nur noch in Ausnahmefällen
- f) **Substitution von HFKW in mobilen Kälte- bzw. Klimaanlage**n durch Kältemittel mit GWP < 150 für alle Fahrzeugtypen und mobilen Anwendungen
- g) **Weitgehende Substitution der fluorierten Kältemittel** in allen weiteren Kälte- und Klimaanlage
- h) **Substitution von SF<sub>6</sub> als Schutzgas in weiteren Produktionsstätten der Magnesium-Produktion** (d. h. auch bei Anlagen mit jährlicher verwendeter Menge an SF<sub>6</sub> unter 850 kg)

### 4.2.2 Methodik sowie Annahmen und Parameter

Die Emissionsprojektionen im APS und EWS wurden auf der Basis von einer aktuellen Studie von Öko-Recherche für das Umweltbundesamt (Öko-Recherche 2011) ermittelt.

In der Öko-Recherche-Studie werden drei Szenarien entwickelt:

- Das **„Business as usual“ Szenario (BAU)** dient als Referenzszenario und extrapoliert Trends der Verwendung und Emissionen fluorierter Treibhausgase seit 1990. Gesetzliche Änderungen der letzten Jahre sind in diesem Szenario nicht integriert. Sofern nicht anders vermerkt, werden die technischen Daten als konstant angenommen.
- Das **Szenario „Mit Maßnahmen“ (MM)** berücksichtigt die Auswirkungen der europäischen F-Gas-Gesetzgebung. Eine Umsetzung bzw. Ergänzung in nationale Gesetzgebung in Deutschland erfolgte durch die Chemikalien-Klimaschutzverordnung (ChemKlimaschutzV).  
Die deutsche ChemKlimaschutzV geht in Teilbereichen über die F-Gas-Verordnung der EU hinaus, indem sie für ortsfeste Kälteanlagen Grenzwerte für den spezifischen Kälte-

mittelverlust festlegt, die in Abhängigkeit von Füllmenge und Baujahr der Anlage einzuhalten sind.

In der Öko-Recherche-Studie werden innerhalb des Aktuelle-Politik-Szenarios zwei Varianten im Bereich der Klima- und Kältetechnik berechnet:

- a) unter Annahme der Einhaltung aller gesetzlich vorgeschriebenen Maßnahmen (d. h. sowohl der EU-F-Gas Verordnung (VO 842/2006/EG) und der ChemKlimaschutzV), bzw.
- b) gemäß einer kritischen Einschätzung der bisherigen Umsetzung (d. h. nur mit Einhaltung der EU-F-Gas Verordnung (VO 842/2006/EG).

Die Richtlinie 2006/40/EG fordert den Ersatz des gängigen Kältemittels HFC-134a in neuen Pkw durch Kältemittel mit GWP < 150 ab 2011 bzw. 2017. Für diesen Bereich werden in der Öko-Recherche-Studie innerhalb des Aktuelle-Politik-Szenarios ebenfalls zwei Varianten berechnet:

- a) Nutzung von HFC-1234yf (GWP = 4) als Ersatz-Kältemittel, und
  - b) Nutzung von CO<sub>2</sub> (GWP = 1) als Ersatz-Kältemittel.
- Das **Szenario „Mit weiteren Maßnahmen“ (MWM)** thematisiert Maßnahmen zur weiteren Reduktion der Emissionen fluorierter Treibhausgase, die noch nicht politisch umgesetzt sind, aber technisch möglich wären und insofern politisch relevant werden könnten.

Das MM-Szenario der Öko-Recherche-Studie wurde für Politiksznarien VI als APS übernommen. Dabei wurde jeweils Variante a) berücksichtigt, d. h. vollständige Umsetzung der ChemKlimaschutzV und HFC-1234yf als Ersatz für HFC-134a in Pkw-Klimaanlagen.

Für das EWS in Politiksznarien VI wurde in Abstimmung mit dem Umweltbundesamt eine Auswahl von einerseits emissionsrelevanten und andererseits von für durchsetzbar erachteten sektoralen Maßnahmen aus dem MWM-Szenario der Öko-Recherche-Studie getroffen. Diese Auswahl ist in Abschnitt 4.1.1 dokumentiert.

### 4.2.3 Ergebnisse der Projektionen

#### Aktuelle-Politik-Szenario

Mit dem beschriebenen methodischen Ansatz ergibt sich für das Aktuelle-Politik-Szenario (APS) die in Tab. 4-6 gezeigte Emissionsentwicklung.

Der größte Emissionsbeitrag muss danach auch in Zukunft für die HFKW-Emissionen bilanziert werden. Mit den berücksichtigten Maßnahmen ist auch in der bis 2009 stark wachsenden Quellgruppe der HFKW-Emissionen aus Kühl- und Klimaanlagen ein absoluter Rückgang der Emissionen zu erwarten. Die SF<sub>6</sub>-Emissionen aus der Entsorgung von Schallschutzfenstern wachsen weiter bis 2020 und nehmen als Folge des Verwendungsverbots von 2007 danach stark ab. Insgesamt kann im APS das Emissionsniveau für HFKW, FKW und SF<sub>6</sub> für den Zeithorizont 2020 wieder fast auf das Niveau von 2000 zurückgeführt werden. Bis 2030 wird im APS eine Emissionsreduktion gegenüber 2000 von 30 % erwartet, im Vergleich zum Jahr 1995 (Basisjahr für die F-Gase) entspricht das einem Rückgang von 45 %.

Tab. 4-6: Entwicklung der Emissionen an fluorierten Treibhausgasen aus Industrieprozessen und Produktverwendung im APS 2000-2030

|  | 2000                                  | 2005          | 2008          | 2009          | 2015          | 2020          | 2025          | 2030         |
|--|---------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
|  | kt CO <sub>2</sub> -Äqu. <sup>b</sup> |               |               |               |               |               |               |              |
| <i>HFKW-Emissionen</i>   |                                       |               |               |               |               |               |               |              |
| Herstellung von halogenierten Kohlenwasserstoffen und SF <sub>6</sub> (2E)   | 1.207                                 | 516           | 425           | 746           | 200           | 200           | 200           | 200          |
| Kühl- und Klimaanlage (2F)   | 3.564                                 | 7.679         | 9.578         | 9.982         | 6.550         | 5.447         | 5.064         | 4.680        |
| Schaumherstellung (2F)   | 1.206                                 | 1.163         | 929           | 731           | 884           | 910           | 936           | 962          |
| Feuerlöscher (2F)  | 2                                     | 7             | 12            | 14            | 12            | 15            | 12            | 9            |
| Aerosole und medizinische Dosiersprays (2F)  | 486                                   | 612           | 492           | 452           | 515           | 525           | 528           | 530          |
| Halbleiterproduktion (2F)  | 17                                    | 16            | 12            | 8             | 12            | 12            | 12            | 12           |
| Nicht spezifiziert/vertraulich <sup>a</sup> (2G)   | 1                                     | 7             | 26            | 21            | 21            | 22            | 23            | 25           |
| <b>Zwischensumme HFKW</b>  | <b>6.483</b>                          | <b>10.001</b> | <b>11.474</b> | <b>11.952</b> | <b>8.193</b>  | <b>7.131</b>  | <b>6.774</b>  | <b>6.418</b> |
| <i>FKW-Emissionen</i>  |                                       |               |               |               |               |               |               |              |
| Aluminiumproduktion (2C)   | 356                                   | 338           | 247           | 247           | 247           | 247           | 247           | 247          |
| Kühl- und Klimaanlage  | 80                                    | 120           | 124           | 71            | NO            | NO            | NO            | NO           |
| Herstellung von halogenierten Kohlenwasserstoffen und SF <sub>6</sub> (2E)   | C,NA,NO                               | C,NA,NO       | C,NA,NO       | C,NA,NO       | C,NA,NO       | C,NA,NO       | C,NA,NO       | C,NA,NO      |
| Halbleiterproduktion (2F)  | 346                                   | 249           | 150           | 110           | 189           | 189           | 189           | 189          |
| Nicht spezifiziert/vertraulich <sup>a</sup> (2G)   | NO                                    | 2             | 11            | 4             | NO            | NO            | NO            | NO           |
| <b>Zwischensumme FKW</b>   | <b>781</b>                            | <b>709</b>    | <b>531</b>    | <b>432</b>    | <b>436</b>    | <b>436</b>    | <b>436</b>    | <b>436</b>   |
| <i>SF<sub>6</sub>-Emissionen</i>   |                                       |               |               |               |               |               |               |              |
| Magnesium-Gießereien (2C)  | 320                                   | 687           | 130           | 86            | 106           | 111           | 117           | 123          |
| Herstellung von halogenierten Kohlenwasserstoffen und SF <sub>6</sub> (2E)   | 215                                   | 239           | 100           | 72            | 100           | 100           | 100           | 100          |
| Halbleiterproduktion (2F)  | 56                                    | 75            | 17            | 12            | 17            | 17            | 17            | 17           |
| Elektrische Anlagen (2F)   | 1.158                                 | 762           | 659           | 623           | 614           | 614           | 614           | 614          |
| Reifenbefüllung (2F)   | 1.195                                 | 65            | 26            | 81            | NO            | NO            | NO            | NO           |
| Spürgas (2F)   | 12                                    | 12            | 4             | 4             | 4             | 4             | 4             | 4            |
| Schallschutzfenster (2F)   | 1.303                                 | 1.502         | 1.905         | 2.044         | 2.758         | 3.521         | 1.868         | 214          |
| Optische Glasfasern (2F)   | NO                                    | 72            | 123           | 75            | 123           | 123           | 123           | 123          |
| Fotovoltaik (2F)   | NO                                    | 20            | 78            | 33            | 55            | 55            | 55            | 55           |
| Nicht spezifiziert/vertraulich <sup>a</sup> (2G)   | 567                                   | 293           | 245           | 192           | 373           | 377           | 381           | 385          |
| <b>Zwischensumme SF<sub>6</sub></b>  | <b>4.826</b>                          | <b>3.726</b>  | <b>3.288</b>  | <b>3.223</b>  | <b>4.150</b>  | <b>4.923</b>  | <b>3.279</b>  | <b>1.636</b> |
| <b>Summe</b>   | <b>12.091</b>                         | <b>14.436</b> | <b>15.292</b> | <b>15.607</b> | <b>12.780</b> | <b>12.489</b> | <b>10.490</b> | <b>8.490</b> |
| <i>ggü. 2000</i>   | -                                     | 19,4%         | 26,5%         | 29,1%         | 5,7%          | 3,3%          | -13,2%        | -29,8%       |
| <i>ggü. 1995 (15.349 kt CO<sub>2</sub>-Äqu.<sup>b</sup>)</i>   | -21,7%                                | -6,5%         | -0,9%         | 1,1%          | -17,2%        | -19,1%        | -32,1%        | -45,0%       |
| Anmerkungen:<br><sup>a</sup> in den Inventaren als vertraulich gekennzeichnete Emissionswerte aus verschiedenen Anwendungsbereichen, z.B. Aluminium-Guss, Teilchenbeschleuniger, Radaranlagen, Schweißen, Sportschuhe, Lösemittelanwendungen<br><sup>b</sup> berechnet mit den für die Kyoto-Berichterstattung maßgeblichen GWP-Werten des 2. IPCC Assessment Report |                                       |               |               |               |               |               |               |              |

Quelle: UBA (2011a+b), Öko-Recherche (2011), Berechnungen Öko-Institut

### Energiewende-Szenario

Eine noch deutlich stärkere Emissionsreduktion ergibt sich für das EWS (Tab. 4-7). Hier führen die unterstellten Maßnahmen zu einer im Vergleich zum APS deutlich stärkeren Reduktion der HFKW-Emissionen aus Kühl- und Klimaanlage sowie der HFKW-Emissionen aus Schaum- und Sprayanwendungen. 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 drei Viertel unter dem Ausgangswert von 2000 liegt. Im Vergleich zum Basisjahr 1995 entspricht das einer Emissionsminderung von über 80 %.

**Tab. 4-7: Entwicklung der Emissionen an fluorierten Treibhausgasen aus Industrieprozessen und Produktverwendung im EWS 2000-2030**

|  | 2000                                  | 2005          | 2008          | 2009          | 2015          | 2020          | 2025         | 2030         |
|--|---------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
|  | kt CO <sub>2</sub> -Äqu. <sup>b</sup> |               |               |               |               |               |              |              |
| <i>HFKW-Emissionen</i>   |                                       |               |               |               |               |               |              |              |
| Herstellung von halogenierten Kohlenwasserstoffen und SF <sub>6</sub> (2E)   | 1.207                                 | 516           | 425           | 746           | 200           | 200           | 200          | 200          |
| Kühl- und Klimaanlage (2F)   | 3.564                                 | 7.679         | 9.578         | 9.982         | 6.160         | 4.667         | 2.481        | 294          |
| Schaumherstellung (2F)   | 1.206                                 | 1.163         | 929           | 731           | 464           | 87            | 87           | 87           |
| Feuerlöscher (2F)  | 2                                     | 7             | 12            | 14            | 12            | 15            | 12           | 9            |
| Aerosole und medizinische Dosiersprays (2F)  | 486                                   | 612           | 492           | 452           | 185           | 96            | 97           | 98           |
| Halbleiterproduktion (2F)  | 17                                    | 16            | 12            | 8             | 12            | 12            | 12           | 12           |
| Nicht spezifiziert/vertraulich <sup>a</sup> (2G)   | 1                                     | 7             | 26            | 21            | 23            | 26            | 28           | 30           |
| <b>Zwischensumme HFKW</b>  | <b>6.483</b>                          | <b>10.001</b> | <b>11.474</b> | <b>11.952</b> | <b>7.055</b>  | <b>5.103</b>  | <b>2.916</b> | <b>730</b>   |
| <i>FKW-Emissionen</i>  |                                       |               |               |               |               |               |              |              |
| Aluminiumproduktion (2C)   | 356                                   | 338           | 247           | 247           | 247           | 247           | 247          | 247          |
| Kühl- und Klimaanlage  | 80                                    | 120           | 124           | 71            | NO            | NO            | NO           | NO           |
| Herstellung von halogenierten Kohlenwasserstoffen und SF <sub>6</sub> (2E)   | C,NA,NO                               | C,NA,NO       | C,NA,NO       | C,NA,NO       | C,NA,NO       | C,NA,NO       | C,NA,NO      | C,NA,NO      |
| Halbleiterproduktion (2F)  | 346                                   | 249           | 150           | 110           | 189           | 189           | 189          | 189          |
| Nicht spezifiziert/vertraulich <sup>a</sup> (2G)   | NO                                    | 2             | 11            | 4             | NO            | NO            | NO           | NO           |
| <b>Zwischensumme FKW</b>   | <b>781</b>                            | <b>709</b>    | <b>531</b>    | <b>432</b>    | <b>436</b>    | <b>436</b>    | <b>436</b>   | <b>436</b>   |
| <i>SF<sub>6</sub>-Emissionen</i>   |                                       |               |               |               |               |               |              |              |
| Magnesium-Gießereien (2C)  | 320                                   | 687           | 130           | 86            | 51            | 0             | 0            | 0            |
| Herstellung von halogenierten Kohlenwasserstoffen und SF <sub>6</sub> (2E)   | 215                                   | 239           | 100           | 72            | 100           | 100           | 100          | 100          |
| Halbleiterproduktion (2F)  | 56                                    | 75            | 17            | 12            | 17            | 17            | 17           | 17           |
| Elektrische Anlagen (2F)   | 1.158                                 | 762           | 659           | 623           | 614           | 614           | 614          | 614          |
| Reifenbefüllung (2F)   | 1.195                                 | 65            | 26            | 81            | NO            | NO            | NO           | NO           |
| Spürgas (2F)   | 12                                    | 12            | 4             | 4             | 4             | 4             | 4            | 4            |
| Schallschutzfenster (2F)   | 1.303                                 | 1.502         | 1.905         | 2.044         | 2.758         | 3.521         | 1.868        | 214          |
| Optische Glasfasern (2F)   | NO                                    | 72            | 123           | 75            | 123           | 123           | 123          | 123          |
| Fotovoltaik (2F)   | NO                                    | 20            | 78            | 33            | 55            | 55            | 55           | 55           |
| Nicht spezifiziert/vertraulich <sup>a</sup> (2G)   | 567                                   | 293           | 245           | 192           | 333           | 296           | 296          | 296          |
| <b>Zwischensumme SF<sub>6</sub></b>  | <b>4.826</b>                          | <b>3.726</b>  | <b>3.288</b>  | <b>3.223</b>  | <b>4.054</b>  | <b>4.731</b>  | <b>3.077</b> | <b>1.424</b> |
| <b>Summe</b>   | <b>12.091</b>                         | <b>14.436</b> | <b>15.292</b> | <b>15.607</b> | <b>11.545</b> | <b>10.269</b> | <b>6.430</b> | <b>2.590</b> |
| <i>ggü. 2000</i>   | -                                     | 19,4%         | 26,5%         | 29,1%         | -4,5%         | -15,1%        | -46,8%       | -78,6%       |
| <i>ggü. 1995 (15.349 kt CO<sub>2</sub>-Äqu.<sup>b</sup>)</i>   | -21,7%                                | -6,5%         | -0,9%         | 1,1%          | -25,2%        | -33,5%        | -58,4%       | -83,2%       |
| Anmerkungen:   |                                       |               |               |               |               |               |              |              |
| <sup>a</sup> in den Inventaren als vertraulich gekennzeichnete Emissionswerte aus verschiedenen Anwendungsbereichen, z.B. Aluminium-Guss, Teilchenbeschleuniger, Radaranlagen, Schweißen, Sportschuhe, Lösemittelanwendungen |                                       |               |               |               |               |               |              |              |
| <sup>b</sup> berechnet mit den für die Kyoto-Berichterstattung maßgeblichen GWP-Werten des 2. IPCC Assessment Report   |                                       |               |               |               |               |               |              |              |

Quelle: UBA (2011b), Öko-Recherche (2011), Berechnungen Öko-Institut

Tab. 4-8 verdeutlicht die Emissionsminderungseffekte der Maßnahmen des APS in der Differenzierung der betroffenen Quellgruppen im Emissionsinventar. Eine Differenzierte Zuordnung der HFKW-Emissionsreduktionen in Kühl- und Klimaanlage auf die einzelnen im APS berücksichtigten Maßnahmen ist nicht verfügbar.

**Tab. 4-8: Emissionsminderungseffekte an fluorierten Treibhausgasen aus Industrieprozessen und Produktverwendung der Maßnahmen im APS**

|  | 2015                                  | 2020         | 2025         | 2030         |
|--|---------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
|  | kt CO <sub>2</sub> -Äqu. <sup>b</sup> |              |              |              |
| <i>HFKW-Emissionsreduktionen</i>   |                                       |              |              |              |
| Herstellung von halogenierten Kohlenwasserstoffen und SF <sub>6</sub> (2E)   | -                                     | -            | -            | -            |
| Kühl- und Klimaanlage (2F)   | 4.312                                 | 6.407        | 7.606        | 8.805        |
| Schaumherstellung (2F)   | 436                                   | 304          | 288          | 271          |
| Feuerlöscher (2F)  | 2                                     | 3            | 2            | 1            |
| Aerosole und medizinische Dosiersprays (2F)  | 16                                    | 16           | 16           | 16           |
| Halbleiterproduktion (2F)  | -                                     | -            | -            | -            |
| Nicht spezifiziert/vertraulich <sup>a</sup> (2G)   | -21                                   | -22          | -23          | -25          |
| <b>Zwischensumme HFKW</b>  | <b>4.745</b>                          | <b>6.708</b> | <b>7.888</b> | <b>9.068</b> |
| <i>FKW-Emissionsreduktionen</i>  |                                       |              |              |              |
| Aluminiumproduktion (2C)   | -                                     | -            | -            | -            |
| Kühl- und Klimaanlage  | -                                     | -            | -            | -            |
| Herstellung von halogenierten Kohlenwasserstoffen und SF <sub>6</sub> (2E)   | -                                     | -            | -            | -            |
| Halbleiterproduktion (2F)  | -                                     | -            | -            | -            |
| Nicht spezifiziert/vertraulich <sup>a</sup> (2G)   | -                                     | -            | -            | -            |
| <b>Zwischensumme FKW</b>   | <b>-</b>                              | <b>-</b>     | <b>-</b>     | <b>-</b>     |
| <i>SF<sub>6</sub>-Emissionsreduktionen</i>   |                                       |              |              |              |
| Magnesium-Gießereien (2C)  | 481                                   | 505          | 545          | 585          |
| Herstellung von halogenierten Kohlenwasserstoffen und SF <sub>6</sub> (2E)   | -                                     | -            | -            | -            |
| Halbleiterproduktion (2F)  | -                                     | -            | -            | -            |
| Elektrische Anlagen (2F)   | -                                     | -            | -            | -            |
| Reifenbefüllung (2F)   | 81                                    | 81           | 81           | 81           |
| Spürgas (2F)   | -                                     | -            | -            | -            |
| Schallschutzfenster (2F)   | 83                                    | 89           | 96           | 102          |
| Optische Glasfasern (2F)   | -                                     | -            | -            | -            |
| Fotovoltaik (2F)   | -                                     | -            | -            | -            |
| Nicht spezifiziert/vertraulich <sup>a</sup> (2G)   | -                                     | -            | -            | -            |
| <b>Zwischensumme SF<sub>6</sub></b>  | <b>645</b>                            | <b>675</b>   | <b>722</b>   | <b>768</b>   |
| <b>Summe</b>   | <b>5.389</b>                          | <b>7.383</b> | <b>8.610</b> | <b>9.836</b> |
| Anmerkungen:   |                                       |              |              |              |
| <sup>a</sup> in den Inventaren als vertraulich gekennzeichnete Emissionswerte aus verschiedenen Anwendungsbereichen, z.B. Aluminium-Guss, Teilchenbeschleuniger, Radaranlagen, Schweißen, Sportschuhe, Lösemittelanwendungen |                                       |              |              |              |
| <sup>b</sup> berechnet mit den für die Kyoto-Berichterstattung maßgeblichen GWP-Werten des 2. IPCC Assessment Report   |                                       |              |              |              |

Quellen: Öko-Recherche (2011), Berechnungen Öko-Institut

Aus dem Vergleich von Tab. 4-6 und Tab. 4-7 ergibt sich der zusätzliche Minderungseffekt der Maßnahmen des EWS gegenüber dem APS. Dieser wird in Tab. 4-9 wiederum in der Differenzierung der Quellgruppen im Emissionsinventar verdeutlicht. Tab. 4-12 zeigt die Emissionsminderungseffekte pro Maßnahme.

**Tab. 4-9: Zusätzliche Emissionsminderungspotenziale an fluorierten Treibhausgasen aus Industrieprozessen und Produktverwendung im EWS gegenüber den APS**

|   | 2015                                  | 2020         | 2025         | 2030         |
|---|---------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
|   | kt CO <sub>2</sub> -Äqu. <sup>b</sup> |              |              |              |
| <i>HFKW-Emissionsreduktionen</i>  |                                       |              |              |              |
| Herstellung von halogenierten Kohlenwasserstoffen und SF <sub>6</sub> (2E)  | -                                     | -            | -            | -            |
| Kühl- und Klimaanlage (2F)  | 390                                   | 780          | 2.583        | 4.386        |
| Schaumherstellung (2F)  | 420                                   | 823          | 849          | 875          |
| Feuerlöscher (2F)   | -                                     | -            | -            | -            |
| Aerosole und medizinische Dosiersprays (2F)   | 331                                   | 429          | 431          | 432          |
| Halbleiterproduktion (2F)   | -                                     | -            | -            | -            |
| Nicht spezifiziert/vertraulich <sup>a</sup> (2G)  | -2                                    | -4           | -5           | -5           |
| <b>Zwischensumme HFKW</b>   | <b>1.139</b>                          | <b>2.028</b> | <b>3.858</b> | <b>5.688</b> |
| <i>FKW-Emissionsreduktionen</i>   |                                       |              |              |              |
| Aluminiumproduktion (2C)  | -                                     | -            | -            | -            |
| Kühl- und Klimaanlage   | -                                     | -            | -            | -            |
| Herstellung von halogenierten Kohlenwasserstoffen und SF <sub>6</sub> (2E)  | -                                     | -            | -            | -            |
| Halbleiterproduktion (2F)   | -                                     | -            | -            | -            |
| Nicht spezifiziert/vertraulich <sup>a</sup> (2G)  | -                                     | -            | -            | -            |
| <b>Zwischensumme FKW</b>  | <b>-</b>                              | <b>-</b>     | <b>-</b>     | <b>-</b>     |
| <i>SF<sub>6</sub>-Emissionsreduktionen</i>  |                                       |              |              |              |
| Magnesium-Gießereien (2C)   | 56                                    | 111          | 117          | 123          |
| Herstellung von halogenierten Kohlenwasserstoffen und SF <sub>6</sub> (2E)  | -                                     | -            | -            | -            |
| Halbleiterproduktion (2F)   | -                                     | -            | -            | -            |
| Elektrische Anlagen (2F)  | -                                     | -            | -            | -            |
| Reifenbefüllung (2F)  | -                                     | -            | -            | -            |
| Spürgas (2F)  | -                                     | -            | -            | -            |
| Schallschutzfenster (2F)  | -                                     | -            | -            | -            |
| Optische Glasfasern (2F)  | -                                     | -            | -            | -            |
| Fotovoltaik (2F)  | -                                     | -            | -            | -            |
| Nicht spezifiziert/vertraulich <sup>a</sup> (2G)  | 41                                    | 81           | 85           | 89           |
| <b>Zwischensumme SF<sub>6</sub></b>   | <b>96</b>                             | <b>192</b>   | <b>202</b>   | <b>212</b>   |
| <b>Summe</b>  | <b>1.235</b>                          | <b>2.220</b> | <b>4.060</b> | <b>5.900</b> |
| Anmerkungen:  |                                       |              |              |              |
| <sup>a</sup> in den Inventaren als vertraulich gekennzeichnete Emissionswerte aus verschiedenen Anwendungsbereichen, z.B. Aluminium-Guss, Teilchenbeschleuniger, Radaranlagen, Schweiß en, Sportschuhe, Lösemittelanwendungen |                                       |              |              |              |
| <sup>b</sup> berechnet mit den für die Kyoto-Berichterstattung maßgeblichen GWP-Werten des 2. IPCC Assessment Report  |                                       |              |              |              |

Quellen: Öko-Recherche (2011), Berechnungen Öko-Institut

Die leichte Steigerung der als vertraulich (2G) berichteten HFKW-Emissionen in EWS gegenüber dem APS (negative Zahlen in Tab. 4-9) ist darin begründet, dass in EWS der Einsatz von SF<sub>6</sub> in Magnesium-Gießereien durch HFKW-134a ersetzt wird. Die entsprechend vermiedenen SF<sub>6</sub>-Emissionen sind ca. um den Faktor 25 größer und sind in Tab. 4-9 bei SF<sub>6</sub> unter Magnesium-Gießereien (2C) aufgeführt.

Tab. 4-10: Wirkungen der Maßnahmen im EWS im Sektor Industrieprozesse und Produktverwendung (Fluorierte Treibhausgase)

| Maßnahme/<br>Umsetzung/<br>Institution  | Typ | Beschreibung/Ziele<br>(Wirkungsbereich)   | Umsetzungs-<br>stand<br>(Wirkungs-<br>beginn) | 2015                               | 2020       | 2025       | 2030       |
|---|-----|---|---|------------------------------------|------------|------------|------------|
|   |     |   |   | Direkte Emissionsminderungseffekte |            |            |            |
|   |     |   |   | Mio. t CO <sub>2</sub> -Äqu.       |            |            |            |
| Verbot des Inverkehrbringens (EU F-Gas Verordnung)                                    | R   | Verbot von F-Gasen für neue Haushaltskühlgeräte   | ab 2012                                       | -                                  | -          | 0,0        | 0,0        |
| Verzicht auf HFKW   | O   | Haushaltswärmepumpen  | ab 2012 / 2017                                | 0,0                                | 0,1        | 0,2        | 0,3        |
| Verzicht auf HFKW   | O   | mobile Raumklimageräten   | ab 2012                                       | 0,0                                | 0,1        | 0,3        | 0,5        |
| Verzicht auf HFKW mit GWP >20   | O   | Neuanlagen der Gebäudeklimatisierung und der Industriekühlung   | ab 2012 / 2017                                | 0,0                                | 0,1        | 0,4        | 0,7        |
| Verzicht auf HFKW mit GWP >150  | O   | mobile Kälte- bzw. Klimaanlage in allen Fahrzeugtypen und mobilen Anwendungen                                   | Substitution bis 2017                         | 0,1                                | 0,2        | 0,9        | 1,5        |
| Verzicht auf HFKW   | O   | Neuanlagen in bestehenden und neuen Supermärkten  | ab 2012 / 2017                                | 0,0                                | 0,2        | 0,6        | 1,0        |
| Verbot des Inverkehrbringens (EU F-Gas Verordnung)                                    | R   | Verbot von F-Gasen für neue steckerfertige Geräten in der Gewerbekälte  | ab 2017                                       | 0,0                                | 0,0        | 0,0        | 0,0        |
| Verzicht auf HFKW   | O   | Weitgehende Substitution der fluorierten Kältemittel in allen weiteren Kälte- und Klimaanlage                   | ab 2017                                       | 0,0                                | 0,1        | 0,2        | 0,3        |
| Verzicht auf HFKW   | O   | PU-Schaumprodukten  | ab 2015                                       | 0,1                                | 0,3        | 0,3        | 0,3        |
| Verzicht auf HFKW   | O   | XPS-Hartschäume   | ab 2015                                       | 0,1                                | 0,6        | 0,6        | 0,6        |
| Verzicht auf HFKW   | O   | Verwendung von HFKW bei Aerosolen (Dosier- und technische Aerosole) nur noch in Ausnahmefällen                  | ab 2013                                       | 0,1                                | 0,4        | 0,4        | 0,4        |
| Anwendungsverbot (EU F-Gas Verordnung)  | R   | SF <sub>6</sub> als Schutzgas auch bei Anlagen mit jährlicher verwendeter Menge an SF <sub>6</sub> unter 850 kg | ab 2013 / 2020                                | 0,2                                | 0,2        | 0,2        | 0,2        |
| <b>Gewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen (ohne Überlagerungseffekte)</b> |     |   |   | <b>0,6</b>                         | <b>2,2</b> | <b>4,1</b> | <b>5,9</b> |

Quellen: Öko-Recherche (2011), Berechnungen Öko-Institut

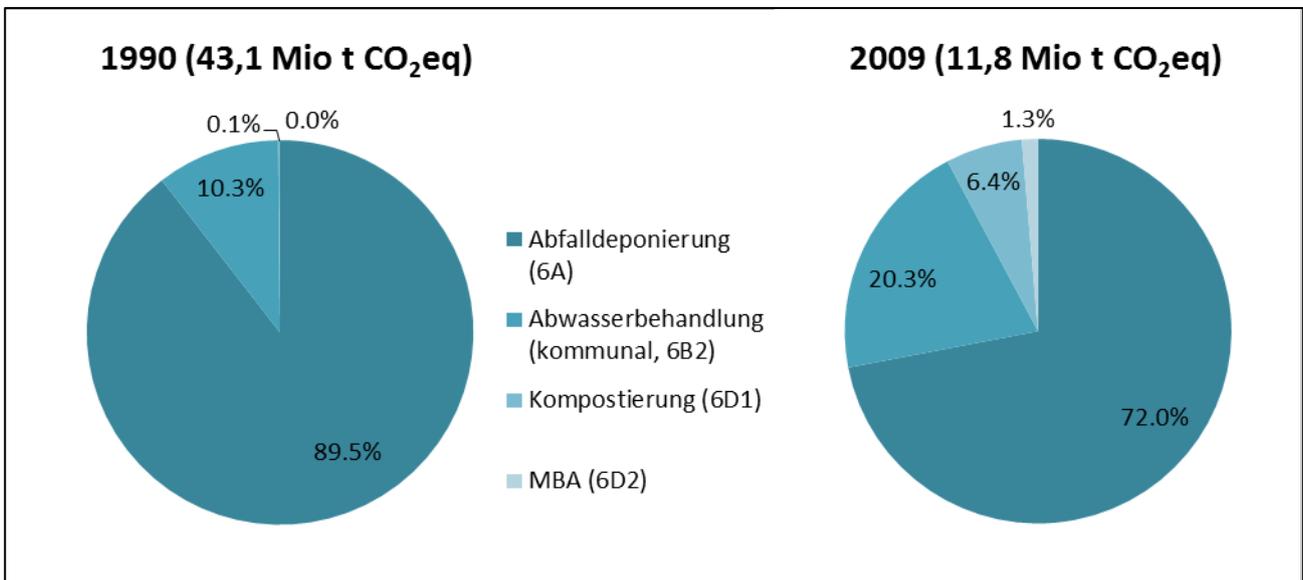
### 4.3 Abfallwirtschaft

Die im Nationalen Inventarbericht (NIR) erfassten Treibhausgasemissionen aus der Abfallwirtschaft nehmen nur einen geringen Anteil an den Gesamttreibhausgasemissionen in Deutschland ein (1,3 % in 2009 (UBA 2011)). Allerdings wird hier nur ein Teil der Emissionen aus der Abfallwirtschaft berichtet. Werden sämtliche Treibhausgasemissionen aus abfallwirtschaftlichen Maßnahmen mit einer Ökobilanz erfasst, ist der Anteil wesentlich größer. Allerdings ergibt sich insgesamt aus abfallwirtschaftlichen Maßnahmen eine Treibhausgasentlastung. Diese Entlastungen werden jedoch in anderen Quellgruppen bilanziert: z. B. wird die Verwendung von Sekundärrohstoffen aus Recyclingverfahren, die zu einer Treibhausgasreduzierung gegenüber dem Einsatz von Primärrohstoffen führt, im Sektor Industrieprozesse bilanziert. Die Emissionen der Abfallverbrennung mit energetischer Nutzung werden im Energieteil berichtet.

Um Doppelzählungen auszuschließen wird hier nur auf die im NIR in Sektor Abfall (Abfalldepositionierung und -kompostierung, mechanisch-biologische Abfallbehandlung, Abwasserbehandlung) berichteten Emissionen Bezug genommen, auch wenn hierdurch die tatsächlichen Minderungsleistungen der Abfallwirtschaft unterschätzt werden (UBA 2010).

Die Abfallwirtschaft bildet eine große Quelle für N<sub>2</sub>O-Emissionen, v. a. aber für CH<sub>4</sub>-Emissionen. Hier liegt der Anteil im Jahr 2009 bei 18,6 % der Gesamt-CH<sub>4</sub>-Emissionen in Deutschland, der Anteil der aus der Abfallwirtschaft erzeugten N<sub>2</sub>O-Emissionen lag bei 3,9 % in 2009. Emissionen von Kohlendioxid werden im betrachteten Quellbereich der Abfallwirtschaft nicht erzeugt.

Abb. 4-1: Anteil der Treibhausgasemissionen in den einzelnen Unterquellgruppen an den Gesamttreibhausgasemissionen der Abfallwirtschaft in 1990 (43,1 Mio. t CO<sub>2</sub>eq) und 2009 (11,8 Mio. t CO<sub>2</sub>eq)



Quelle: UBA (2011)

Notiz: Angaben in Klammern geben die Gesamt-Treibhausgasemissionen aus dem Abfallsektor in 1990 und 2009 an.

MBA = mechanisch-biologische Abfallbehandlung.

Treibhausgasemissionen aus der industriellen Abwasserbehandlung (6B1) werden im deutschen Treibhausgasinventar nicht berichtet, da bei dieser Abwasserbehandlung keine CH<sub>4</sub>-Emissionen auftreten und eine IPCC-Berichterstattungsvorschrift für N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der industriellen Abwasserbehandlung nicht existiert.

Die Abfallverbrennung (6C) erfolgt in Deutschland vollständig unter energetischer Nutzung, weshalb die entstehenden Emissionen zur Vermeidung von Doppelzählungen im Energieteil berichtet werden.

In den vergangenen Jahren konnten v. a. die Methan-Emissionen aus der Unterquellgruppe Abfalldeponierung (6A) gemindert werden (-78 % zwischen 1990 und 2009). Da aufgrund dieser Reduktion die Emissionen aus der kommunalen Abwasserbehandlung (6B2, hier v.a. N<sub>2</sub>O) zur bedeutsameren Emissionsquelle in der Abfallwirtschaft wurden und zudem jährlich zunehmende Anteile der biologisch abbaubaren Abfälle in Kompostierungsanlagen (6D1) verwertet werden (vgl. Abb. 4-1), wurde in der vorliegende Studie für 6B2 und 6D1 das Energiewende-Szenario (EWS) berücksichtigt.

### 4.3.1 Rahmendaten und Maßnahmen

#### Aktuelle-Politik-Szenario

Die entscheidenden regulatorischen Rahmenbedingungen für den Abfallsektor sind das Wirken der TA Siedlungsabfall (TASi) und entsprechende Regelungen des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrWG/AbfG). Am 30.03.2011 hat die Bundesregierung die Novelle des Kreislaufwirtschaftsgesetzes beschlossen. Hierbei wird dem Recycling eine höhere Bedeutung als der energetischen Verwertung beigemessen; bis 2020 sollen 65 % aller Siedlungsabfälle recycelt werden. Die Novellierung des Gesetzes bedurfte noch der Zustimmung des Bundesrates; in einer Stellungnahme vom 27.05.2011 sah der Bundesrat für die Neuordnung des Abfallrechtes Nachbesserungsbedarf. In seiner Sitzung vom 25. November 2011 hat der Bundesrat der Novel-

lierung des Gesetzes nicht zugestimmt sondern den Vermittlungsausschuss angerufen. Wesentliche Änderungen des Gesetzes (Abfallhierarchie, Einstufung von Beseitigungs- und Verwertungsanlagen sowie bei der gewerblichen Sammlung) konnten keine Berücksichtigung im APS finden.

Weitere relevante rechtliche Regelungen entstammen der Abfallablagerungsverordnung (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).

### **Energiewende-Szenario**

Für die Berechnung der Methan-Emissionen aus der kommunalen Abwasserbehandlung wird die Einwohnerzahl herangezogen, die nicht an die Kanalisation bzw. Kleinkläranlagen angeschlossen ist und das Abwasser in abflusslose Gruben leitet (die Behandlung von Abwasser in kommunalen Kläranlagen sowie Kleinkläranlagen erfolgt unter aeroben Bedingungen, weswegen keine Methanemissionen auftreten). Im APS entspricht der Anteil der Bewohner an der Gesamtbevölkerung, die an abflusslose Gruben angeschlossen ist, dem aus dem Jahr 2008, die Reduktionberechnung erfolgt nur über die Bevölkerungsentwicklung. Im EWS werden hingegen Annahmen über die Entwicklung des Bevölkerungsanteils mit abflusslosen Gruben getroffen (siehe Abschnitt 4.3.3).

Zudem wurden im EWS Ziele aus dem Koalitionsvertrag für die 17. Legislaturperiode berücksichtigt, zum einen hinsichtlich des Ausbaus von Angeboten an Familienbildung für eine gesunde Ernährung von Kindern und Erwachsenen (Zeilen 1801-1805, Kapitel Ernährungsbildung). Über eine Reduktion des Fleischkonsums und damit der Eiweißzufuhr werden über die damit verbundene Minderung des Stickstoffanteils je produzierte Menge Abwasser die N<sub>2</sub>O-Emissionen reduziert. Hierbei wird berücksichtigt, dass die tägliche Eiweißzufuhr zu 27 % über Fleisch erfolgt (FAO 2010). Zum anderen wird eine verstärkte Nutzung von Abfall (organischen Reststoffen) als Ersatz von Biomasse für die bioenergetische Verwendung angenommen (Zeile 938, Kapitel Erneuerbare Energien).

### **4.3.2 Methodik**

Die Ermittlung der Treibhausgasemissionen unter den o. g. Szenarien basiert auf den Daten des Nationalen Inventarberichts in Deutschland 2011 (UBA 2011a). Zwei verschiedene Szenarien wurden für die Projektionen der Treibhausgasemissionen aus der Abfallwirtschaft verwendet:

Die o.g. entscheidenden regulatorischen Rahmenbedingungen für den Abfallsektor werden für alle Unterquellgruppen dem Aktuelle-Politik-Szenario (APS) zugeordnet. Für die Treibhausgasemissionen aus der **Abfalldeponierung** (6A) wurde ein Multi-Phasen-Modell verwendet, das für

die einzelnen Abfallfraktionen und deren unterschiedlichen verschiedenen Halbwertszeiten die Emissionen berechnet und anschließend summiert<sup>50</sup>.

Für die Emissionen aus den Anlagen zur **Kompostierung** (6D1) und **biologisch-mechanischen Abfallbehandlung** (6D2) werden die verbrachten Mengen (Destatis 2001-2009) in einfacher Berechnung mit entsprechenden Emissionsfaktoren (IFEU 2003) verknüpft.

Für die Unterquellgruppe **kommunale Abwasserbehandlung** (6B2) wurden die Treibhausgasemissionen anhand eines einfachen Ansatzes berechnet. Für CH<sub>4</sub> erfolgt die Berechnung über den Anteil der Bevölkerung mit abflusslosen Gruben und der organischen Fracht in deren Abwässern über Default-Faktoren. N<sub>2</sub>O-Emissionen wurden über die Eiweißzufuhr pro Kopf (Eiweißanteil im Fleisch), dem damit verbundenen Stickstoff im Abwasser und Default-Emissionsfaktoren berechnet. Da die Maßnahme sich auf gesunde Ernährung bzw. die Reduktion des Fleischkonsums bezieht, wird mit dem Anteil der Eiweißzufuhr, die über Fleisch erfolgt (27 %) gerechnet und die Eiweißzufuhr über andere Lebensmittel (Milch, Eier, etc.) konstant gehalten.

Zusätzlich wurden für die Unterquellgruppen 6B2 und 6D1 Treibhausgasemissionen unter dem Energiewende-Szenario mit nachfolgenden Annahmen berechnet (siehe Abschnitt 4.3.3).

### 4.3.3 Annahmen und Parameter

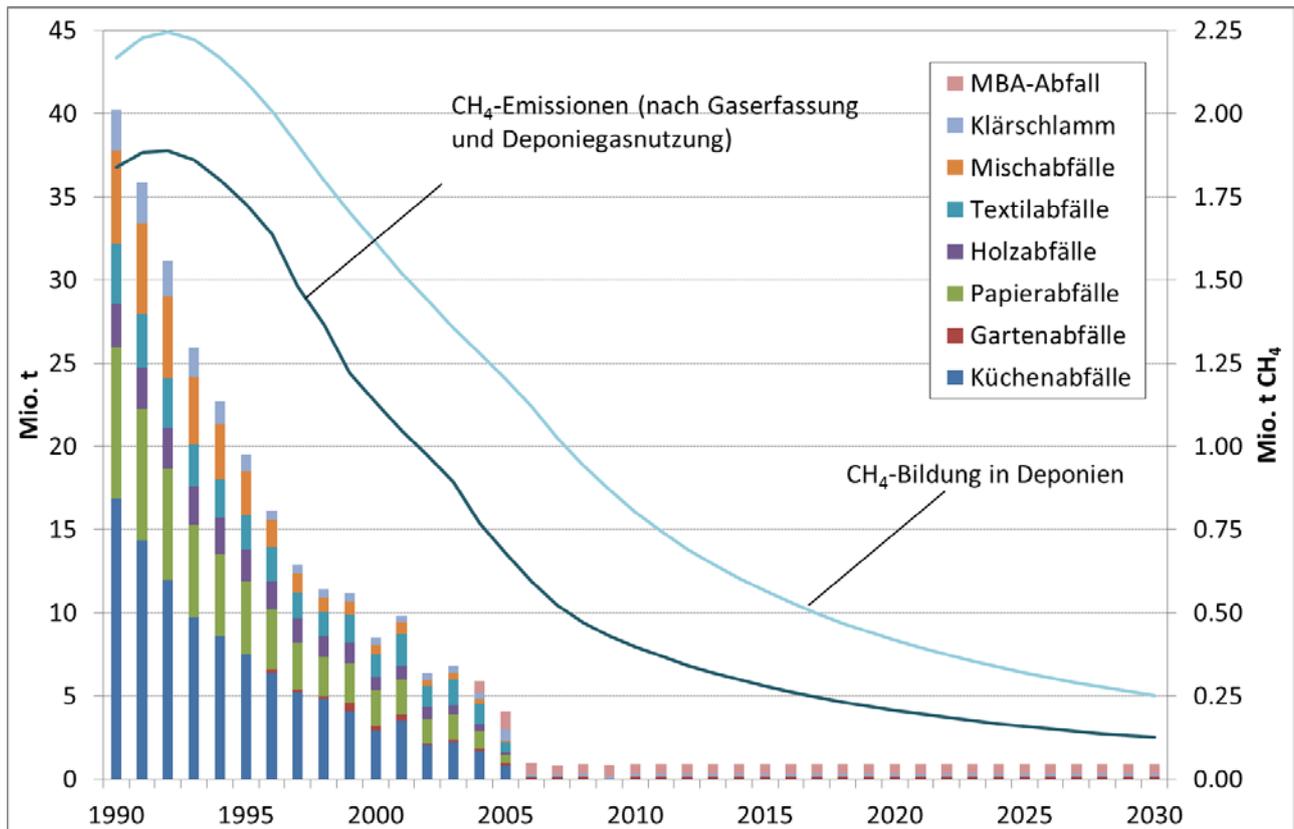
#### Aktuelle-Politik-Szenario

**CH<sub>4</sub>-Emissionen aus der Abfalldéponierung (6A):** Daten zum Aufkommen an deponierten Siedlungsabfällen (Haus- und Gewerbemüll) entstammen der Statistik des Statistischen Bundesamtes (Destatis, seit 1996) sowie den im Modell hinterlegten historischen Daten (für detaillierte Informationen siehe UBA 2011). Im APS wurde konservativ von einem gleichbleibenden Abfallinput in Deponien ausgegangen, der dem Stand des Jahres 2008 entspricht. Der kinetische Ansatz im Modell spiegelt die realitätsnahe zeitliche Entwicklung der Methanbildung über mehrere Jahre ab. Abb. 4-2 zeigt den Effekt der verzögerten Reduktion der CH<sub>4</sub>-Emissionen nach signifikanter Abnahme der deponierten organischen Abfallmenge Anfang der 1990er Jahre. Eine wichtige Rolle spielt zum einen die Abfallzusammensetzung und die aus den unterschiedlichen Halbwertszeiten der Abfallkomponenten resultierende CH<sub>4</sub>-Bildung in Deponien. Zum anderen beeinflusst die Deponiegaserfassung und -nutzung die Höhe der CH<sub>4</sub>-Emissionen aus Deponien.

---

<sup>50</sup> Das kinetische Modell zur Emissionsberechnung aus der Abfalldéponierung bildet die Ausgasung der deponierten organischen Materialien über die Zeit ab und berücksichtigt auch die Erfassung und Nutzung von Deponiegas. Für nähere Details zum Modell vgl. UBA (2011).

Abb. 4-2: Entwicklung der CH<sub>4</sub>-Emissionen aus der Abfalldeponierung in Deutschland (6A, 1990-2030)



Quelle: UBA (2011a+b), DESTATIS, Berechnungen des Öko-Instituts.

**CH<sub>4</sub>-Emissionen aus der kommunalen Abwasserbehandlung (6B2):** Basierend auf Daten des statistischen Bundesamtes (Destatis 1990-2009) und der in UBA (2011) beschriebenen Methode wurde für die Emissionsberechnung angenommen, dass der zukünftige Anteil an Einwohnern mit abflusslosen Gruben an der Gesamtbevölkerung dem Anteil in 2008 entspricht. Dieser Anteil wurde auf Basis der in UBA (2011) beschriebenen Berechnung über die durchschnittliche tägliche organische Fracht ermittelt. Die Minderung der CH<sub>4</sub>-Emissionen basiert vornehmlich auf dem anteiligen Rückgang der abflusslosen Gruben bzw. der in diese ihr Abwasser entsorgenden Einwohner, der größer ist als der Rückgang der Bevölkerung.

**N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der kommunalen Abwasserbehandlung (6B2):** Die Berechnung der N<sub>2</sub>O-Emissionen erfolgte auf Grundlage von Daten der FAO und der in UBA (2011) dokumentierten Methode. Im APS wurde keine Änderung der Ernährung und der damit verbundenen Eiweißzufuhr<sup>51</sup> angenommen sondern der Stand des Jahres 2008 für zukünftige Jahre angenommen; die Minderung der N<sub>2</sub>O-Emissionen wird daher nur durch den Bevölkerungsrückgang hervorgerufen.

**CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der Kompostierung und der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (6D1 und 6D2):** Für die Ermittlung der Treibhausgasemissionen aus diesen Abfallbehandlungsströmen mittels der oben beschriebenen Methodik wurde von einer gleich-

<sup>51</sup> FAO-Daten zum Eiweißanteil tierischen Ursprungs: <http://www.fao.org/economic/ess/ess-fs/fs-data/ess-fadata/en/>

bleibenden Abfallmenge (Stand 2008) ausgegangen, die den Behandlungsanlagen zugeführt wurde.

### Energiewende-Szenario

**CH<sub>4</sub>-Emissionen aus der kommunalen Abwasserbehandlung (6B2):** Im EWS wird eine Abnahme des Einwohneranteils mit abflusslosen Gruben um jährlich 6 % angenommen. Dies entspricht der mittleren Änderungsrate aus den letzten fünf Jahren (2005-2009). Die Grundsätze der Abwasserbeseitigung und die Abwasserbeseitigungspflicht nach § 55 und 56 WHG und der Betrieb von Abwasseranlagen nach § 60 WHG schließen eine Nutzung von abflusslosen Gruben für die Entsorgung von Haushaltsabwässern nicht aus. Artikel 3 der EU-Richtlinie 91/271/EWG ermöglicht die Einrichtung individueller Systeme oder anderer geeigneter Maßnahmen, die das gleiche Umweltschutzniveau gewährleisten, wenn die Einrichtung einer Kanalisation nicht gerechtfertigt werden kann (übermäßige Kosten, Gemeinden mit weniger als 2000 Einwohnern). Der Anteil der Bevölkerung, die abflusslose Gruben betreiben, weil beispielsweise die Grundstücksbesitzer Grundstücke außerhalb geschlossener Ortschaften besitzen, ist in den vergangenen Jahren kontinuierlich gesunken. In einzelnen Bundesländern wird in Gebieten, in denen der Entwässerungsplan einen Anschluss an öffentliche Abwasserbehandlungsanlagen nicht vorsieht, der Bau von Kleinkläranlagen durch finanzielle Zuschüsse unterstützt. Für das EWS wurde eine weitere Abnahme von abflusslosen Gruben angenommen. Wie auch im APS wurde zudem die Bevölkerungsentwicklung berücksichtigt.

**N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der kommunalen Abwasserbehandlung (6B2):** Der im Koalitionsvertrag für die 17. Legislaturperiode vom Oktober 2009 (CDU, CSU, FDP 2009) vorgesehene Ausbau von Angeboten an Familienbildung für eine gesunde Ernährung von Kindern und Erwachsenen wird für das EWS herangezogen. Für die Berechnung der N<sub>2</sub>O-Emissionen wird angenommen dass über das verbesserte Ernährungsbewusstsein der Bevölkerung der jährliche Pro-Kopf-Fleischkonsum von derzeit ca. 60 kg Fleisch auf 52 kg reduziert wird. Dies entspricht bei täglichem Fleischverzehr von ca. 170 g Fleisch einem Verzicht auf Fleisch an einem Tag in der Woche - der Wert weicht allerdings noch stark von der Empfehlung der Deutschen Gesellschaft für Ernährung<sup>52</sup> ab (jährlich maximal 31 kg Fleisch pro Kopf), sodass hier noch ein höheres Reduktionspotential vorhanden wäre. In der Berechnung wird die täglich Eiweißzufuhr aus allen Proteinquellen entsprechend der FAO-Daten verwendet und um den Anteil der Eiweißzufuhr, die über Fleisch erfolgt (27 %) gemindert. Über die Reduktion des Eiweiß-Stickstoffs je produzierter Menge Abwasser und dem Bevölkerungsrückgang kann so die Entwicklung der N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der kommunalen Abwasserentsorgung ermittelt werden.

**CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der Kompostierung (6D1):** Um der im Koalitionsvertrag vorgesehenen verstärkten Berücksichtigung organischer Reststoffe (Abfall) als Ersatz von Biomasse für die bioenergetische Verwendung (Verstromung), Rechnung zu tragen, wird im EWS ein Anstieg der Stromerzeugung aus biogenem Abfall (Vergärung) zwischen 2008 und 2020 um 17 % angenommen (Fortschreibung bis 2030). Anteil und Wichtungen lehnen sich an die Leitstudie (DLR, Fraunhofer IWES, IFNE 2010)) an (vgl. Abschnitt 0, Tab. 3-108). Für die Emissionsberechnung wird eine entsprechende Abnahme des Inputs von Siedlungsabfällen im Kompoststrom angenommen, der dann der Vergärung zugeführt wird (vgl. UBA 2010). Der stärkere

<sup>52</sup> Vollwertig essen und trinken nach den 10 Regeln der DGE:  
<http://www.dge.de/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=15>

Nutzungsdruck auf biogene Reststoffe, der sich durch Art. 21 Abs. 2 der Richtlinie zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (RL 2009/28/EG, EE-RL) bzw. der laufenden Novellierung der Verordnung zur Durchführung der Regelungen der Biokraftstoffquote (36. BImSchV) ergibt, wurde im EWS quantitativ nicht berücksichtigt.

#### 4.3.4 Ergebnisse der Projektionen

Die Ergebnisse der Projektionsberechnungen für das Aktuelle-Politik-Szenario zeigen, dass die starke Minderung der CH<sub>4</sub>-Emissionen aus der Abfalldeponierung die Entwicklung der Treibhausgasemissionen des Abfallsektors wesentlich bestimmt (vgl. Tab. 4-11). Der signifikante Rückgang des Abfallinputs in Deponien (-78 % zwischen 2005 und 2030) aufgrund der entscheidenden regulatorischen Rahmenbedingungen für den Abfallsektor ist hier maßgebend.

Durch den starken Rückgang des Abfallinputs, der zudem vor der Deponierung einer Vorbehandlung unterzogen wird, um die Methanentwicklung aus den biogenen Anteilen zu vermeiden, sinken im APS im Zeitraum von 2005 bis 2030 die CH<sub>4</sub>-Emissionen im Bereich der Deponien um 82 %. In diesem Szenario ergibt sich auch in der kommunalen Abwasserentsorgung eine Minderung um 29 % im Bereich der CH<sub>4</sub>-Emissionen und um 6 % bei den N<sub>2</sub>O-Emissionen, wobei diese Quelle rein quantitativ relativ unbedeutend ist. Die Bereiche Kompostierung und mechanisch-biologische Abfallbehandlung bleiben im APS unverändert gegenüber dem Basisjahr (siehe Tab. 4-11).

Tab. 4-11: Entwicklung der CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der Abfallwirtschaft im Aktuelle-Politik-Szenario, 2000-2030

|   | 2000     | 2005   | 2008   | 2009   | 2015   | 2020   | 2025   | 2030   |
|---|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|   | kt       |        |        |        |        |        |        |        |
| <i>Abfallinput</i>  |          |        |        |        |        |        |        |        |
| Deponien  | 8.506    | 4.067  | 905    | 852    | 905    | 905    | 905    | 905    |
| Biologische Abfallbehandlungsanlagen  | 10.284   | 12.412 | 13.044 | 13.198 | 13.044 | 13.044 | 13.044 | 13.044 |
| Mechanisch-biologische Abfallbehandlung <sup>a</sup>  | 1.246    | 2.520  | 4.900  | 4.900  | 4.900  | 4.900  | 4.900  | 4.900  |
| <i>CH<sub>4</sub>-Emissionen</i>  |          |        |        |        |        |        |        |        |
| Deponien  | 1.133,00 | 679,00 | 470,00 | 403,00 | 270,37 | 193,42 | 142,97 | 107,96 |
| Kommunale Abwasserbehandlung  | 8,32     | 5,75   | 4,33   | 3,85   | 4,26   | 4,22   | 4,15   | 4,08   |
| Kompostierung   | 26,03    | 26,18  | 26,13  | 26,13  | 26,13  | 26,13  | 26,13  | 26,13  |
| Mechanisch-biologische Abfallbehandlung   | 0,19     | 0,25   | 0,27   | 0,27   | 0,27   | 0,27   | 0,27   | 0,27   |
| Zwischensumme CH <sub>4</sub>   | 1.167,54 | 711,19 | 500,73 | 433,26 | 301,04 | 224,03 | 173,53 | 138,45 |
| <i>N<sub>2</sub>O-Emissionen</i>  |          |        |        |        |        |        |        |        |
| Kommunale Abwasserbehandlung  | 7,32     | 7,49   | 7,45   | 7,43   | 7,34   | 7,26   | 7,15   | 7,05   |
| Kompostierung   | 0,66     | 0,68   | 0,66   | 0,66   | 0,66   | 0,66   | 0,66   | 0,66   |
| Mechanisch-biologische Abfallbehandlung   | 0,29     | 0,44   | 0,49   | 0,49   | 0,49   | 0,49   | 0,49   | 0,49   |
| Zwischensumme N <sub>2</sub> O  | 8,27     | 8,60   | 8,60   | 8,59   | 8,49   | 8,41   | 8,30   | 8,21   |
| Summe (kt CO <sub>2</sub> -Äqu.)  | 27.081   | 17.602 | 13.182 | 11.760 | 8.955  | 7.313  | 6.217  | 5.452  |
| ggü. 2005   | 53,8%    | -      | -25,1% | -33,2% | -49,1% | -58,5% | -64,7% | -69,0% |
| Anmerkung: <sup>a</sup> relevant für die Treibhausgasemissionen ist nur der Anteil an der Gesamtmenge, der in MBA-Anlagen mit biologischer Stufe behandelt wird |          |        |        |        |        |        |        |        |

Quelle: UBA (2011a+b), Berechnungen des Öko-Instituts.

Im EWS können die Minderungen der CH<sub>4</sub>-Emissionen im Bereich der kommunalen Abwasserbehandlung auf 81 % im Zeitraum 2005-2030 erhöht werden, außerdem sinken dort die N<sub>2</sub>O-

Emissionen um 10 % (siehe Tab. 4-12). Weitere geringe Reduktionen ergeben sich noch im Bereich der Kompostierung (CH<sub>4</sub> sinkt um 8 %, N<sub>2</sub>O um 9 %).

Tab. 4-12: Entwicklung der CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen aus der Abfallwirtschaft im Energiewende-Szenario, 2000-2030

|   | 2000     | 2005   | 2008   | 2009   | 2015   | 2020   | 2025   | 2030   |
|---|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|   | kt       |        |        |        |        |        |        |        |
| <i>Abfallinput</i>  |          |        |        |        |        |        |        |        |
| Deponien  | 8.506    | 4.067  | 905    | 852    | 905    | 905    | 905    | 905    |
| Biologische Abfallbehandlungsanlagen  | 10.284   | 12.412 | 13.044 | 13.198 | 13.044 | 13.044 | 13.044 | 13.044 |
| Mechanisch-biologische Abfallbehandlung <sup>a</sup>  | 1.246    | 2.520  | 4.900  | 4.900  | 4.900  | 4.900  | 4.900  | 4.900  |
| <i>CH<sub>4</sub>-Emissionen</i>  |          |        |        |        |        |        |        |        |
| Deponien  | 1.133,00 | 679,00 | 470,00 | 403,00 | 270,37 | 193,42 | 142,97 | 107,96 |
| Kommunale Abwasserbehandlung  | 8,32     | 5,75   | 4,33   | 3,85   | 2,81   | 2,06   | 1,51   | 1,11   |
| Kompostierung   | 26,03    | 26,18  | 26,13  | 26,13  | 25,11  | 24,09  | 24,09  | 24,09  |
| Mechanisch-biologische Abfallbehandlung   | 0,19     | 0,25   | 0,27   | 0,27   | 0,27   | 0,27   | 0,27   | 0,27   |
| Zwischensumme CH <sub>4</sub>   | 1.167,54 | 711,19 | 500,73 | 433,26 | 298,56 | 219,83 | 168,84 | 133,43 |
| <i>N<sub>2</sub>O-Emissionen</i>  |          |        |        |        |        |        |        |        |
| Kommunale Abwasserbehandlung  | 7,32     | 7,49   | 7,45   | 7,43   | 7,06   | 6,98   | 6,87   | 6,76   |
| Kompostierung   | 0,66     | 0,68   | 0,66   | 0,66   | 0,64   | 0,62   | 0,62   | 0,62   |
| Mechanisch-biologische Abfallbehandlung   | 0,29     | 0,44   | 0,49   | 0,49   | 0,49   | 0,49   | 0,49   | 0,49   |
| Zwischensumme N <sub>2</sub> O  | 8,27     | 8,60   | 8,60   | 8,59   | 8,19   | 8,09   | 7,98   | 7,87   |
| Summe (kt CO <sub>2</sub> -Äqu.)  | 27.081   | 17.602 | 13.182 | 11.760 | 8.809  | 7.124  | 6.019  | 5.242  |
| ggü. 2005   | 53,8%    | -      | -25,1% | -33,2% | -50,0% | -59,5% | -65,8% | -70,2% |
| Anmerkung: <sup>a</sup> relevant für die Treibhausgasemissionen ist nur der Anteil an der Gesamtmenge, der in MBA-Anlagen mit biologischer Stufe behandelt wird |          |        |        |        |        |        |        |        |

Quelle: UBA (2011a+b), Berechnungen des Öko-Instituts.

Der Bereich der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung wird in beiden Szenarien durch keine Reduktions-Maßnahme adressiert.

Insgesamt fällt damit die Reduktion der Treibhausgasemissionen im Energiewende-Szenario nur wenig höher aus als im Aktuelle-Politik-Szenario (12,4 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. zwischen 2005 und 2030 statt 12,1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu.). Die gravierende Emissionsminderung durch die bereits ergriffenen Maßnahmen zur Rückführung der Treibhausgasemissionen aus der Abfallwirtschaft überlagern die Maßnahmen im Energiewende-Szenario.

## 4.4 Landwirtschaft

### 4.4.1 Rahmendaten und Maßnahmen

Im vorliegenden Bericht wird der Landwirtschaftssektor einer separaten Analyse unterzogen. Grundlage der Analyse sind die Baseline-Projektionen der agrarökonomischen Institute des vTI für das Jahr 2021 (Offermann et al. 2012). Neue Eingangsdaten für Tierzahlen, Ausbringungstechniken und Wirtschaftsdüngereinarbeitungszeiten, Flächennutzung und Mineraldüngereinsatz basieren auf den 2010-Daten der 2012-Submission für das EU-Inventar. Die Betrachtung schließt CO<sub>2</sub> aus der Landnutzung, Landnutzungsänderung 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. Für diese beiden Gase ist die Landwirtschaft die größte Emissionsquelle in Deutschland. Im Jahr 2009 (DE CRF 2012 Submission für EU NIR<sup>53</sup>) waren landwirtschaftliche CH<sub>4</sub>-Emissionen in Höhe von 26,2 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. (d. h. 53,9 % der gesamten CH<sub>4</sub>-Emissionen in Höhe von 48,6 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu.) zu verzeichnen, gefolgt von den Sektoren Energie mit 12,0 Mio. t (24,7 %) und Abfall mit 10,4 Mio. t (21,4 %). Die landwirtschaftlichen N<sub>2</sub>O-Emissionen erreichten im selben Jahr einen Stand von 42,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. (d.h. 66,7 % der gesamten N<sub>2</sub>O-Emissionen in Höhe von 63,7 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu.), gefolgt von industriellen Prozessen der chemischen Industrie mit 11,9 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. (18,7 %) sowie dem Energiesektor mit 6,0 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. (9,4 %) und dem Abfallsektor (2,7 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äqu. bzw. 4,2 %). Von 1990 bis 2009 sanken die landwirtschaftlichen Emissionen von CH<sub>4</sub> bzw. N<sub>2</sub>O um 20,7 % bzw. 15,4 %, während die Gesamtemissionen beider Gase um 54,7 % bzw. 25,3 % abnahmen. Der stärksten Rückgang der N<sub>2</sub>O-Emissionen fand in diesem Zeitraum hierbei in der chemischen Industrie statt (-47,0 %).

### Aktuelle-Politik-Szenario

Politische Regelungen für die Landwirtschaft werden zu großen Teilen auf EU-Ebene im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) beschlossen. Klimaspezifische Maßnahmen und Instrumente zur Reduktion der Treibhausgas-Emissionen sind im Landwirtschaftssektor nicht als eine treibende Kraft zu verzeichnen. Reformen der GAP wie z.B. die Entwicklung des ländlichen Raums zielen insbesondere auf Extensivierungsprogramme ab, welche durch umweltfreundliches Wirtschaften, geringere Tierproduktionszahlen sowie die Reduktion des Stickstoffdüngereinsatzes erreicht werden sollten.

- a) **Cross Compliance:** Um EU-Direktzahlungen zu erhalten, müssen bestimmte Standards in den Bereichen Umweltschutz, Tierhaltung und Lebensmittelqualität eingehalten werden. Durch die Verlinkung der Direktzahlungen mit umweltverträglicher Bewirtschaftung in der Landwirtschaft ist seit 2005 ein stärkerer Anreiz auch hinsichtlich Klimapolitik geschaffen worden (cross-compliance). Der Einsatz von stickstoffhaltigen Düngemitteln wird beispielsweise durch die EU-Nitratrichtlinie geregelt, welche in Deutschland über das Düngegesetz 2009 und die Düngemittelverordnung umgesetzt wird.

<sup>53</sup> <http://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/ghgmm/envtw7blw>

- b) **Ländliche Entwicklung:** Mit der EG-Verordnung über die Förderung der Entwicklung des ländlichen Raums durch den Europäischen Landwirtschaftsfond (ELER) (VO 1698/2005 /EG) soll zukünftig Ressourceneffizienz im Hinblick auf ein
- c) **Nachhaltiges und integratives Wachstum** in der Landwirtschaft zum Wohle aller Rechnung getragen werden. Die Mitgliedsstaaten können somit nationale und insbesondere regionale Agrarumweltmaßnahmen erstellen, die dann von der EU kofinanziert werden. Gefördert werden u.a. der ökologische Landbau, die Einschränkung des Einsatzes von Düngemitteln und umwelt- und tiergerechte Haltungsverfahren. Dadurch können Umweltziele schneller umgesetzt werden, die zur Klimapolitik beitragen.
- d) **Health-Check-Beschlüsse:** Mit Hilfe der Beschlüsse sollte im Bereich Landwirtschaft die marktorientierte Produktion gestärkt werden. D.h. Direktzahlungen an Landwirte wurden gekürzt (Ausgleichszahlungen entkoppelt) und die dadurch frei werdenden Mittel in den Fonds für die Entwicklung des ländlichen Raums eingestellt. Als weitere Maßnahmen sind hier die Abschaffung der Flächenstilllegungsprämie, Entkopplung der Tierprämien und die schrittweise Anhebung der Milchquoten bis zu ihrem endgültigen Wegfall im Jahr 2015 zu nennen. Letztere Maßnahmen beeinflussten unmittelbar den Milchproduktionssektor und führten zu Änderungen im Tierbestand. Zudem wurden im Rahmen dieser Beschlüsse die Mittel zur Förderung der ländlichen Entwicklung aufgestockt (Schwerpunkt Klimawandel, Bioenergie und Wasserbewirtschaftung).

Generell sind die Wirkungen aufgrund der Komplexität des Sektors schwer einzuschätzen. Im Rahmen des Berichts sind die Projektionen daher auf ein Aktuelle-Politik-Szenario (APS) limitiert. Grundlage der Annahmen ist die Beibehaltung der derzeitigen Agrarpolitik und die Umsetzung der bereits beschlossenen Maßnahmen. Wesentliche Auswirkungen auf die Projektionen haben daher die Umsetzung der Health-Check-Beschlüsse mit dem Auslaufen der Milchquotenregelung im Jahr 2015 und die Aufhebung der obligatorischen Flächenstilllegung ab dem Jahr 2009 (EC 2009). Derzeit wird über die Neuausrichtung der Gemeinsamen EU-Agrarpolitik nach 2013 diskutiert, mit dem Ziel eine wirksamere Politik für eine wettbewerbsfähige und nachhaltige Landwirtschaft (auch hinsichtlich Klimawandel) und einen lebendigen ländlichen Raum zu machen.

#### 4.4.2 Methodik

Die vorgestellten Ergebnisse basieren auf dem Nationalen Inventarbericht zum deutschen Treibhausgasinventar (NIR) 1990-2010 (UBA 2012 (Berichterstattung für das EU-Inventar)). Diese wurden erweitert um zukünftige Trends der Baseline-Projektion der agrarökonomischen Institute des vTI für das Jahr 2021. Die Ergebnisse für 2021 werden auf das Jahr 2020 übertragen. Die zukünftige Entwicklung der Aktivitätsdaten und Treibhausgas-Emissionen unterliegt nachfolgenden Annahmen (s. Abschnitt 4.4.3). Diese Projektionen werden als Aktuelle-Politik-Szenario (APS) definiert.

#### 4.4.3 Annahmen und Parameter

Die Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen in der deutschen Landwirtschaft ist abhängig von der landwirtschaftlichen 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 wie folgt (Vgl. Offermann et al. 2012):

- Das Auslaufen der Milchquote und eine Ertragssteigerung in der Milchproduktion führen bis 2020 zu einem Rückgang des Milchkuhbestandes um 40 % im Vergleich zu 1990 (im Jahr 1990 gab es noch 6355 Tausend Milchkühe). Die Population von Mastbullen, Färsen und Kälbern entwickelt sich proportional zu den Milchkuhbeständen. (Offermann et al. 2012)
- Für die Entwicklung der Aktivitätsrate von Maultieren und Eseln liegen keine Projektionen vor, weswegen für diese Quellkategorien Fortschreibungen der Daten aus dem Jahr 2009 vorgenommen wurden.
- Die Aktivitätsdaten für 2015 wurden für alle Tierkategorien interpoliert.
- Aufgrund fehlender Projektionsmöglichkeiten mit ausreichender Qualität wird in den Projektionen der Wert von 2020 für 2025 und 2030 konstant fortgeschrieben.

#### 4.4.4 Ergebnisse der Projektionen

Basierend auf den oben genannten Annahmen werden die Projektionen für die Jahre 2015, 2020, 2025 und 2030 abgeleitet. Tab. 4-13 zeigt die historische und projizierte Entwicklung der Aktivitätsdaten zum Tierbestand für die Jahre 1990-2030. Hierbei ist die Anzahl der Rinder stark rückläufig. Gegenüber 2005 sinken deren Bestände um 14,4 % bzw. 42,7 % im Jahr 2030. In der Schweineproduktion ist ein Rückgang von 13,8 % im Vergleich 2030/1990 zu verzeichnen.

Tab. 4-13: Entwicklung der landwirtschaftlichen Aktivitätsdaten, 1990-2030

| Treibhausgas Quell- und Senkenkategorien | 1990                                    | 1995    | 2000    | 2005    | 2008    | 2009    | 2015                                   | 2020    | 2025    | 2030    |
|--|---|---------|---------|---------|---------|---------|--|---------|---------|---------|
|  | Treibhausgasinventar 2010               |         |         |         |         |         | Projektion (Aktuelle-Politik-Szenario) |         |         |         |
|  | Aktivitätsdaten (Population) in Tausend |         |         |         |         |         |  |         |         |         |
| 1. Rinder                                | 19.488                                  | 15.890  | 14.538  | 13.036  | 12.970  | 12.945  | 11.971                                 | 11.160  | 11.160  | 11.160  |
| Milchkühe                                | 6.355                                   | 5.229   | 4.570   | 4.236   | 4.218   | 4.205   | 3.992                                  | 3.813   | 3.813   | 3.813   |
| Nicht-Milchkühe                          | 13.133                                  | 10.661  | 9.968   | 8.799   | 8.752   | 8.739   | 7.980                                  | 7.346   | 7.346   | 7.346   |
| 2. Büffel                                | NO                                      | NO      | 1       | 1       | 2       | 2       | 2                                      | 2       | 2       | 2       |
| 3. Schafe                                | 3.266,1                                 | 2.990,7 | 2.743   | 2.643   | 2.437   | 2.350   | 2.159                                  | 2.000   | 2.000   | 2.000   |
| 4. Ziegen                                | 90,0                                    | 100,0   | 140     | 170     | 190     | 220     | 182                                    | 150     | 150     | 150     |
| 5. Kamele und Lamas                      | NO                                      | NO      | NO      | NO      | NO      | NO      | NO                                     | NO      | NO      | NO      |
| 6. Pferde                                | 491,0                                   | 625,6   | 491     | 500     | 515     | 489     | 474                                    | 462     | 462     | 462     |
| 7. Maultiere und Esel                    | 8,5                                     | 8,5     | 9       | 9       | 9       | 9       | 9                                      | 9       | 9       | 9       |
| 8. Schweine                              | 26.502                                  | 20.387  | 21.768  | 22.743  | 22.677  | 23.021  | 22.931                                 | 22.856  | 22.856  | 22.856  |
| 9. Geflügel                              | 113.879                                 | 111.228 | 120.180 | 120.561 | 127.542 | 128.221 | 129.609                                | 130.766 | 130.766 | 130.766 |
| 10. Andere (zu spezifizieren)            | NE                                      | NE      | k.A.    | NE      | NE      | NE      | NE                                     | NE      | NE      | NE      |

NE = not estimated (nicht geschätzt)  
 NO = not occurring (nicht existent)

Quelle: UBA (2012), Offermann et al. (2012), Berechnungen Öko-Institut

Tab. 4-14: Entwicklung der CH4-Emissionen in der Landwirtschaft, 1990-2030

| Landwirtschaft (CRF 4)                            | 1990                      | 1995    | 2000    | 2005    | 2008    | 2009    | 2015                                   | 2020    | 2025    | 2030    |
|---|---------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|--|---------|---------|---------|
|   | Treibhausgasinventar 2010 |         |         |         |         |         | Projektion (Aktuelle-Politik-Szenario) |         |         |         |
|   | kt CH4                    |         |         |         |         |         |  |         |         |         |
| Landwirtschaft (CRF 4) [CH4-Emissionen]           | 1.571,3                   | 1.390,1 | 1.319,1 | 1.243,0 | 1.240,2 | 1.245,8 | 1.182,2                                | 1.132,0 | 1.132,0 | 1.132,0 |
| A. Fermentation                                   | 1.270,1                   | 1.112,7 | 1.046,1 | 975,2   | 971,8   | 975,4   | 925,0                                  | 883,0   | 883,0   | 883,0   |
| B. Düngewirtschaft                                | 301,2                     | 277,5   | 272,9   | 267,8   | 268,4   | 270,4   | 257,2                                  | 249,0   | 249,0   | 249,0   |
| C. Reisanbau                                      | NO                        | NO      | NO      | NO      | NO      | NO      | NO                                     | NO      | NO      | NO      |
| D. Landwirtschaftliche Böden                      | NO                        | NO      | NO      | NO      | NO      | NO      | NO                                     | NO      | NO      | NO      |
| E. Brandrodung                                    | NO                        | NO      | NO      | NO      | NO      | NO      | NO                                     | NO      | NO      | NO      |
| F. Verbrennen von Ernterückständen auf der Fläche | NO                        | NO      | NO      | NO      | NO      | NO      | NO                                     | NO      | NO      | NO      |
| G. Andere   | NA,NO                     | NA,NO   | NA,NO   | NA,NO   | NA,NO   | NA,NO   | NA,NO                                  | NA,NO   | NA,NO   | NA,NO   |
| <b>CH4-Emissionen</b>                             | <b>kt CO2-Äquivalent</b>  |         |         |         |         |         |  |         |         |         |
|   | 32.996                    | 29.193  | 27.700  | 26.102  | 26.043  | 26.161  | 24.826                                 | 23.772  | 23.772  | 23.772  |
| Veränderung ggü. 1990                             |                           | -11,5%  | -16,1%  | -20,9%  | -21,1%  | -20,7%  | -24,8%                                 | -28,0%  | -28,0%  | -28,0%  |
| Veränderung ggü. 2005                             |                           |         |         |         | -0,2%   | 0,23%   | -4,9%                                  | -8,9%   | -8,9%   | -8,9%   |
| NO = not occurring (nicht existent)               |                           |         |         |         |         |         |  |         |         |         |

Quelle: UBA (2012), Offermann et al. (2012), Berechnungen Öko-Institut

Tab. 4-15: Entwicklung der N2O-Emissionen in der Landwirtschaft, 1990-2030

| Landwirtschaft (CRF 4) N2O-Emissionen             | 1990                      | 1995   | 2000   | 2005   | 2008   | 2009   | 2015                                   | 2020   | 2025   | 2030   |
|---|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--------|--------|
|   | Treibhausgasinventar 2010 |        |        |        |        |        | Projektion (Aktuelle-Politik-Szenario) |        |        |        |
|   | kt N2O                    |        |        |        |        |        |  |        |        |        |
| Landwirtschaft (CRF 4) [N2O-Emissionen]           | 162,0                     | 141,8  | 148,9  | 141,1  | 143,3  | 137,1  | 138,1                                  | 141,9  | 141,9  | 141,9  |
| A. Fermentation                                   | NO                        | NO     | NO     | NO     | NO     | NO     | NO                                     | NO     | NO     | NO     |
| B. Düngewirtschaft                                | 8,3                       | 7,6    | 7,3    | 7,2    | 7,3    | 7,4    | 7,1                                    | 6,9    | 6,9    | 6,9    |
| C. Reisanbau                                      | NO                        | NO     | NO     | NO     | NO     | NO     | NO                                     | NO     | NO     | NO     |
| D. Landwirtschaftliche Böden                      | 153,7                     | 134,2  | 141,6  | 133,9  | 136,0  | 129,7  | 131,0                                  | 135,0  | 135,0  | 135,0  |
| E. Brandrodung                                    | NO                        | NO     | NO     | NO     | NO     | NO     | NO                                     | NO     | NO     | NO     |
| F. Verbrennen von Ernterückständen auf der Fläche | NO                        | NO     | NO     | NO     | NO     | NO     | NO                                     | NO     | NO     | NO     |
| G. Andere   |                           |        | NA, NO |        |        |        |  | NA,NO  |        |        |
| <b>N2O-Emissionen</b>                             | <b>kt CO2-Äquivalent</b>  |        |        |        |        |        |  |        |        |        |
|   | 50.215                    | 43.951 | 46.161 | 43.751 | 44.424 | 42.497 | 42.811                                 | 43.989 | 43.989 | 43.989 |
| Veränderung ggü. 1990                             |                           | -12%   | -8%    | -13%   | -12%   | -15%   | -15%                                   | -12%   | -12%   | -12%   |
| Veränderung ggü. 2005                             |                           |        |        |        | 2%     | -3%    | -2%                                    | 1%     | 1%     | 1%     |
| NO = not occurring (nicht existent)               |                           |        |        |        |        |        |  |        |        |        |

Quelle: UBA (2012), Offermann et al. (2012), Berechnungen Öko-Institut

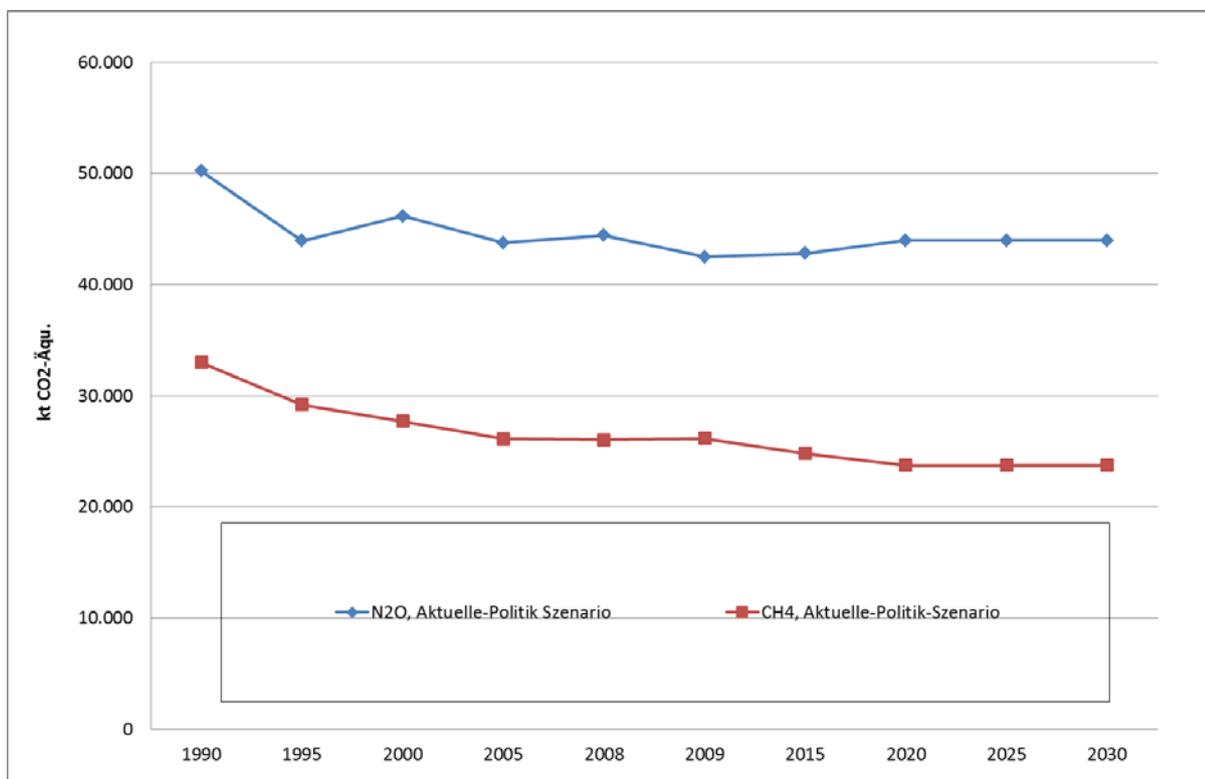
Tab. 4-16: Entwicklung der THG-Emissionen in der Landwirtschaft in kt CO<sub>2</sub> Äquivalenten , 1990-2030

|                                | 1990   | 1995   | 2000   | 2005   | 2008   | 2009   | 2015   | 2020   | 2025   | 2030   |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| N2O, Aktuelle-Politik Szenario | 50.215 | 43.951 | 46.161 | 43.751 | 44.424 | 42.497 | 42.811 | 43.989 | 43.989 | 43.989 |
| CH4, Aktuelle-Politik-Szenario | 32.996 | 29.193 | 27.700 | 26.102 | 26.043 | 26.161 | 24.826 | 23.772 | 23.772 | 23.772 |
| Gesamt                         | 83.211 | 73.143 | 73.861 | 69.853 | 70.467 | 68.659 | 67.637 | 67.761 | 67.761 | 67.761 |
| Veränderung ggü. 1990          |        | -12%   | -11%   | -16%   | -15%   | -17%   | -19%   | -19%   | -19%   | -19%   |
| Veränderung ggü. 2005          |        |        |        |        | 1%     | -2%    | -3%    | -3%    | -3%    | -3%    |

Quelle: Berechnungen Öko-Institut

Tab. 4-14, Tab. 4-15 sowie Tab. 4-16 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 8,9 % (28 %). Die Reduktion ist überwiegend auf die Abnahme der Tierzahlen bei Milchkühen und Rindern zurückzuführen. Die gesamten N<sub>2</sub>O-Emissionen in den relevanten Bereichen Düngewirtschaft und Landwirtschaftliche Böden nehmen im Vergleich von 2030/2005 um 0,5 % zu, im Vergleich zu 2030/1990 sind die N<sub>2</sub>O-Emissionen um 12,4 % zurückgegangen. Abb. 4-3 führt diese Veränderungen für beide Gase zusammen. Letztlich sinken die landwirtschaftlichen Gesamtemissionen im Vergleich von 2030/2005 (bzw. 2030/1990) um 3,0 % (18,6 %) auf 67.761 kt CO<sub>2</sub>-Äqu. im Jahr 2030.

Abb. 4-3: Entwicklung der CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen in der Landwirtschaft, 1990-2030



Quelle: UBA (2012), Offermann et al. (2012), Berechnungen Öko-Institut

## 5 Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen

### 5.1.1 Entwicklung der Emissionen nach Treibhausgasen

#### Aktuelle-Politik-Szenario

In der Tab. 5-1 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 Aktuelle-Politik-Szenario (APS) 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 Vergleich zum Basisjahr des Kyoto-Protokolls werden die gesamten Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2020 um 33,4 % bzw. bis zum Jahr 2030 um 43,9 % gemindert. Das Jahr 2005 stellt das Basisjahr der Emission-Sharing-Entscheidung dar (EC 2009) und ist somit entscheidend insbesondere für die Emissionen, die nicht unter dem Rahmen des Emissionshandels reguliert werden. Im Zeitraum 2005 bis 2020 werden die gesamten Treibhausgasemissionen um 17,6 % und bis zum Jahr 2030 um 30,6 % zurückgeführt. Der größte Emissionsminderungsbeitrag entfällt auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen, in diesem Bereich werden über 89 % der gesamten Emissionsreduktion erbracht. Ein größerer Anteil (ca. 7 %) entfällt im Zeitverlauf auf die Zurückführung des Ausstoßes von CH<sub>4</sub>. Die Minderung der N<sub>2</sub>O-, HFKW-, FKW- und SF<sub>6</sub>-Emissionen bleiben dagegen mit Minderungsanteilen von 2 % bzw. darunter eher gering, aber auch die Entwicklung der Emissionstrends für diese Treibhausgase zeigt in unterschiedlichem Maße stark ausgeprägte rückläufige Tendenzen.

Die Übersicht verdeutlicht aber auch, dass vor allem im Bereich des internationalen Verkehrs der Steigerungstrend in Bezug auf die Emissionen im APS nicht gebrochen werden kann und es zu einer deutlichen Ausweitung der entsprechenden Emissionen kommt.

Tab. 5-1: Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen im Aktuelle-Politik-Szenario nach Gasen, 2000-2030

|  | 2000                         | 2005   | 2008   | 2009   | 2015   | 2020   | 2025   | 2030   |
|--|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|  | Mio. t CO <sub>2</sub> -Äqu. |        |        |        |        |        |        |        |
| Kohlendioxid   | 891,0                        | 864,0  | 848,0  | 788,8  | 788,2  | 714,2  | 677,4  | 592,6  |
| Methan   | 73,9                         | 56,4   | 50,4   | 48,0   | 43,0   | 38,5   | 37,1   | 35,9   |
| Lachgas  | 61,8                         | 61,5   | 63,5   | 63,3   | 55,0   | 55,7   | 55,6   | 54,8   |
| HFKW   | 6,5                          | 10,0   | 11,5   | 12,0   | 8,2    | 7,1    | 6,8    | 6,4    |
| FKW  | 0,8                          | 0,7    | 0,5    | 0,4    | 0,4    | 0,4    | 0,4    | 0,4    |
| SF <sub>6</sub>  | 4,8                          | 3,7    | 3,3    | 3,2    | 4,2    | 4,9    | 3,3    | 1,6    |
| Gesamt   | 1.038,7                      | 996,2  | 977,1  | 915,7  | 899,0  | 820,9  | 780,6  | 691,9  |
| ggü. 2005  | 4,3%                         | -      | -1,9%  | -8,1%  | -9,8%  | -17,6% | -21,6% | -30,6% |
| ggü. 1990  | -16,5%                       | -19,9% | -21,5% | -26,4% | -27,8% | -34,0% | -37,3% | -44,4% |
| ggü. Basisjahr <sup>a</sup>  | -15,7%                       | -19,2% | -20,7% | -25,7% | -27,1% | -33,4% | -36,7% | -43,9% |
| Nachrichtlich:   |                              |        |        |        |        |        |        |        |
| Internat. ziviler Luftverkehr und internat. Seeverkehr   | 26,8                         | 31,4   | 35,5   | 34,0   | 38,5   | 41,9   | 45,7   | 49,7   |
| 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 (2011 a+b), Berechnungen von Fraunhofer ISI, IEK-STE und Öko-Institut.

Angesichts der vergleichsweise langen Vorlaufzeiten der für die Emissionsminderungen notwendigen Maßnahmen nimmt die Dynamik der Emissionsminderung im Zeitverlauf tendenziell zu.

**Energiewende-Szenario**

Im Energiewende- Szenario (EWS) werden durch die deutlich ambitionierteren Politiken und Maßnahmen deutlich größere Emissionsminderungen erbracht. Im Vergleich zum Basisjahr des Kyoto-Protokolls betragen die gesamten Emissionsminderungen 41 % bis 2020 und 58 % bis 2030. Bis zum Jahr 2020 belaufen sich die gesamten Emissionsminderungen gegenüber dem Jahr 2005 auf 27 %, der entsprechende Vergleichswert für 2030 beträgt 48 %

**Tab. 5-2: Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen im Energiewende-Szenario nach Gasen, 2000-2030**

|  | 2000                         | 2005         | 2008         | 2009         | 2015         | 2020         | 2025         | 2030         |
|--|------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|  | Mio. t CO <sub>2</sub> -Äqu. |              |              |              |              |              |              |              |
| Kohlendioxid   | 891,0                        | 864,0        | 848,0        | 788,8        | 743,8        | 623,9        | 542,7        | 429,0        |
| Methan   | 73,9                         | 56,4         | 50,4         | 48,0         | 42,8         | 37,9         | 36,0         | 34,2         |
| Lachgas  | 61,8                         | 61,5         | 63,5         | 63,3         | 51,4         | 51,7         | 51,1         | 50,2         |
| HFKW   | 6,5                          | 10,0         | 11,5         | 12,0         | 7,1          | 5,1          | 2,9          | 0,7          |
| FKW  | 0,8                          | 0,7          | 0,5          | 0,4          | 0,4          | 0,4          | 0,4          | 0,4          |
| SF <sub>6</sub>  | 4,8                          | 3,7          | 3,3          | 3,2          | 4,1          | 4,7          | 3,1          | 1,4          |
| <b>Gesamt</b>  | <b>1.038,7</b>               | <b>996,2</b> | <b>977,1</b> | <b>915,7</b> | <b>849,5</b> | <b>723,7</b> | <b>636,2</b> | <b>516,1</b> |
| ggü. 2005  | 4,3%                         | -            | -1,9%        | -8,1%        | -14,7%       | -27,4%       | -36,1%       | -48,2%       |
| ggü. 1990  | -16,5%                       | -19,9%       | -21,5%       | -26,4%       | -31,7%       | -41,8%       | -48,9%       | -58,5%       |
| ggü. Basisjahr <sup>a</sup>  | -15,7%                       | -19,2%       | -20,7%       | -25,7%       | -31,1%       | -41,3%       | -48,4%       | -58,1%       |
| <i>Nachrichtlich:</i>  |                              |              |              |              |              |              |              |              |
| <i>Internat. ziviler Luftverkehr<br/>und internat. Seeverkehr</i>  | 26,8                         | 31,4         | 35,5         | 34,0         | 36,7         | 38,5         | 38,7         | 37,2         |
| 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 (2011 a+b), Berechnungen von Fraunhofer ISI, IEK-STE und Öko-Institut.

Der Großteil dieser Emissionsentwicklung (Tab. 5-2) ist wiederum auf die Projektion für die CO<sub>2</sub>-Emissionen zurückzuführen. Im EWS beträgt der Anteil der CO<sub>2</sub>-Emissionen an der gesamten Emissionsminderung etwa 91 %, auch im EWS ist der Beitrag der Emissionsentwicklung für CH<sub>4</sub> signifikant (ca. 5 %), hier aber etwa gleichgewichtig mit den Beiträgen der N<sub>2</sub>O-Emissionsminderung. Herauszuheben ist aber auch, dass im EWS auch für die HFKW-Emissionen erhebliche Emissionsminderungsbeiträge erkennbar sind, gleichwohl bleiben die Beiträge von HFKW, vor allem aber FKW und SF<sub>6</sub> zur gesamten Emissionsminderung vergleichsweise gering.

Mit Blick auf die dem internationalen Verkehr zuzurechnenden Emissionen wird im EWS – bedingt durch die durchgreifenden Maßnahmen im Bereich des internationalen Flugverkehrs – bis 2020 eine deutliche Dämpfung des Emissionszuwachses erreicht und können bis 2030 die Emissionen fast wieder auf das Niveau von 2005 zurückgeführt werden.

### 5.1.2 Entwicklung der Treibhausgasemissionen nach Quellbereichen

#### Aktuelle-Politik-Szenario

Eine nach Quellbereichen strukturierte Übersicht über die Emissionsentwicklung im Aktuelle-Politik-Szenario (APS) für den Zeitraum 2000 bis 2030 bietet die Tab. 5-3. Etwa 55 % der im Zeitraum von 2005 bis 2030 erzielten Emissionsminderungen werden von den Energiesektoren, vor allem der Stromerzeugung erbracht. Den zweitgrößten Beitrag erbringen im APS mit jeweils etwa 13 % 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 6 % und 4 % weitere signifikante Emissionsminderungen.

Tab. 5-3: Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen im Aktuelle-Politik-Szenario nach Quellbereichen, 2000-2030

|  | 2000                         | 2005   | 2008   | 2009   | 2015   | 2020   | 2025   | 2030   |
|--|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|  | Mio. t CO <sub>2</sub> -Äqu. |        |        |        |        |        |        |        |
| Energiesektoren  | 360,9                        | 376,4  | 367,5  | 343,7  | 339,7  | 286,2  | 270,6  | 207,9  |
| Industrie  | 118,6                        | 113,1  | 118,5  | 102,7  | 114,9  | 113,4  | 111,5  | 110,3  |
| GHD  | 54,7                         | 47,9   | 48,8   | 45,2   | 44,9   | 41,7   | 38,3   | 34,8   |
| Haushalte  | 118,9                        | 111,9  | 107,7  | 103,4  | 96,9   | 89,2   | 81,5   | 73,8   |
| Verkehr  | 182,3                        | 161,2  | 154,0  | 153,3  | 146,2  | 137,8  | 130,1  | 120,4  |
| Flüchtige Emissionen aus Energiesektoren   | 22,4                         | 15,5   | 13,0   | 11,8   | 10,5   | 8,1    | 7,6    | 6,9    |
| Industrieprozesse  | 77                           | 81     | 82     | 73     | 67     | 67     | 65     | 62     |
| Produktverwendung  | 3                            | 2      | 2      | 2      | 2      | 2      | 2      | 2      |
| Landwirtschaft   | 74                           | 70     | 70     | 69     | 68     | 68     | 68     | 68     |
| Abfallwirtschaft   | 27                           | 18     | 13     | 12     | 9      | 7      | 6      | 5      |
| Gesamt   | 1.038,7                      | 996,2  | 977,1  | 915,7  | 899,0  | 820,9  | 780,6  | 691,9  |
| ggü. 2005  | 4,3%                         | -      | -1,9%  | -8,1%  | -9,8%  | -17,6% | -21,6% | -30,6% |
| ggü. 1990  | -16,5%                       | -19,9% | -21,5% | -26,4% | -27,8% | -34,0% | -37,3% | -44,4% |
| ggü. Basisjahr <sup>a</sup>  | -15,7%                       | -19,2% | -20,7% | -25,7% | -27,1% | -33,4% | -36,7% | -43,9% |
| <i>Nachrichtlich:</i>  |                              |        |        |        |        |        |        |        |
| Internat. ziviler Luftverkehr und internat. Seeverkehr   | 26,8                         | 31,4   | 35,5   | 34,0   | 38,5   | 41,9   | 45,7   | 49,7   |
| 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 (2011 a+b), Berechnungen von Fraunhofer ISI, IEK-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 mehr als zwei Drittel, die flüchtigen Treibhausgasemissionen aus den Energiesektoren werden in diesem Zeitraum um 56 % gemindert, die prozessbedingten Treibhausgasemissionen sinken um fast 23 %. In den Endverbrauchssektoren – mit Ausnahme der Industrie – werden Emissionsminderungen in der Bandbreite von 25 % (nationaler Verkehr) bis 34 % (private Haushalte) erbracht. Die Emissionen der Industrie (hier v.a. bedingt durch die Emissionsentwicklung bei den Industriekraftwerken) gehen im Zeitraum 2005 bis 2030 mit 2 % nur wenig zurück. Die gesamten Treibhausgasemissionen der Energiesektoren (d.h. v.a. der Stromerzeugung) sinken von 2005 bis 2030 um knapp 45 %.

Tab. 5-4: Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen im Aktuelle-Politik-Szenario nach Erfassung durch das EU ETS, 2000-2030

|  | 2000                         | 2005  | 2008  | 2009  | 2015  | 2020   | 2025   | 2030   |
|--|------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
|  | Mio. t CO <sub>2</sub> -Äqu. |       |       |       |       |        |        |        |
| CO <sub>2</sub> aus stat. ETS-Anlagen <sup>a</sup>   | 474,8                        | 480,0 | 472,5 | 428,8 | 438,0 | 383,8  | 366,7  | 304,1  |
| N <sub>2</sub> O aus stat. ETS-Anlagen <sup>a</sup>  | 5,2                          | 8,2   | 9,7   | 11,9  | 3,2   | 3,3    | 3,4    | 3,5    |
| THG-Emissionen nicht-ETS <sup>b</sup>  | 556,4                        | 505,9 | 492,8 | 472,9 | 456,1 | 432,1  | 408,9  | 382,6  |
| Gesamt   | 1.036,4                      | 994,1 | 975,0 | 913,5 | 897,2 | 819,2  | 778,9  | 690,2  |
| Stat. ETS ggü. 2005 <sup>a</sup>   | -1,7%                        | -     | -1,2% | -9,7% | -9,6% | -20,7% | -24,2% | -37,0% |
| Nicht-ETS ggü. 2005 <sup>b</sup>   | 10,0%                        | -     | -2,6% | -6,5% | -9,8% | -14,6% | -19,2% | -24,4% |
| Nachr.:  |                              |       |       |       |       |        |        |        |
| Flugverkehrs-ETS <sup>c</sup>  | 21,9                         | 25,2  | 27,1  | 27,1  | 30,4  | 33,7   | 37,4   | 41,3   |
| Flug-ETS ggü. 2005   | -13,4%                       | -     | 7,3%  | 7,3%  | 20,5% | 33,5%  | 48,0%  | 63,7%  |
| Anmerkung: <sup>a</sup> vom EU-ETS erfasste stationäre Anlagen in der Abgrenzung ab 2013. <sup>b</sup> Nicht-ETS-Emissionen ohne nationalen Flugverkehr. <sup>c</sup> Flugverkehrsemissionen im EU-ETS näherungsweise als Summe des nationalen und internationalen Flugverkehrs ermittelt. |                              |       |       |       |       |        |        |        |

Quellen: Berechnungen des Öko-Instituts.

Vor dem Hintergrund der Einordnung in den Rahmen der EU-Klimapolitik ist die Emissionsentwicklung in den dem EU-Emissionshandelssystem (EU ETS) unterliegenden Sektoren bzw. Anlagen von besonderem Interesse. Die Tab. 5-4 zeigt die Ergebnisse für das Aktuelle-Politik-Szenario differenziert nach dem EU-Emissionshandelssystem unterliegenden Sektoren sowie den Quellbereichen, die den Verpflichtungen der sog. Effort-sharing-Entscheidung unterliegen.

Für die stationären Anlagen, die dem EU ETS unterliegen, ergibt sich im APS eine Minderung von knapp 21 % bis 2020 sowie von etwa 37 % bis 2030 (jeweils im Vergleich zu 2005, dem relevanten Bezugsjahr für die Verpflichtungen im Rahmen der EU). Für die dem Effort sharing unterliegenden Emissionsquellen ergibt sich im APS eine Minderung von knapp 15 % bis 2020 sowie von etwa 24 % bis 2030.

### Energiewende-Szenario

Eine deutliche Rolle spielen die Energiesektoren bei der weiteren Reduktion von Treibhausgasemissionen im Energiewende-Szenario (EWS), die in Tab. 5-5 verdeutlicht wird. Etwa 50 % der gesamten Emissionsminderung von 2005 bis 2030 entfallen hier auf die Energiesektoren, erhebliche Anteile entfallen im EWS aber auch auf die privaten Haushalte (16 %), den Verkehrssektor (12 %) bzw. die industriellen Prozessemissionen (8 %) sowie den GHD-Sektor (6 %).

Mit Blick auf die spezifischen Minderungsbeiträge sind vor allem drei Gruppen hervorzuheben. Zur ersten Gruppe gehören die Sektoren, in denen sehr hohe Emissionsminderungen erzielt werden. Spezifische Treibhausgasreduktionen im Zeitraum 2005 bis 2030 in der Größenordnung von etwa 64 bis 67,5 % entfallen hier auf die Energiesektoren, den Haushaltssektor sowie die flüchtigen Treibhausgasemissionen des Energiesektors. Für den GHD-Sektor beträgt der Emissionsrückgang etwa 58 %. Emissionsminderungen von etwa 70 % werden in der Abfallwirtschaft erzielt.

Eine Rückführung des Treibhausgas-Ausstoßes im Bereich von 36 % erfolgt im (nationalen) Verkehr, im Bereich der Industrieprozesse werden die Emissionen um etwa 47 % reduziert. Diese

Bereiche können der zweiten Gruppe von Sektoren mit „mittleren“ Emissionsminderungsbeiträgen zugerechnet werden.

Die dritte Gruppe betrifft die Sektoren mit auch langfristig eher geringen Emissionsminderungsbeiträgen. So fallen im Gesamtzeitraum 2005 bis 2030 die Emissionsminderungen für die Industrie (-14 %) sowie für die Landwirtschaft (-3 %) vergleichsweise moderat aus.

**Tab. 5-5: Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen im Energiewende-Szenario nach Quellbereichen, 2000-2030**

|  | 2000                         | 2005          | 2008          | 2009          | 2015          | 2020          | 2025          | 2030          |
|--|------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|  | Mio. t CO <sub>2</sub> -Äqu. |               |               |               |               |               |               |               |
| Energiesektoren  | 360,9                        | 376,4         | 367,5         | 343,7         | 307,0         | 231,1         | 195,9         | 136,4         |
| Industrie  | 118,6                        | 113,1         | 118,5         | 102,7         | 111,7         | 107,1         | 102,8         | 97,6          |
| GHD  | 54,7                         | 47,9          | 48,8          | 45,2          | 42,6          | 35,6          | 27,6          | 20,1          |
| Haushalte  | 118,9                        | 111,9         | 107,7         | 103,4         | 91,9          | 74,6          | 54,6          | 36,4          |
| Verkehr  | 182,3                        | 161,2         | 154,0         | 153,3         | 144,8         | 129,7         | 116,8         | 102,5         |
| Flüchtige Emissionen aus Energiesektoren   | 22,4                         | 15,5          | 13,0          | 11,8          | 10,3          | 7,6           | 6,6           | 5,5           |
| Industrieprozesse  | 77                           | 81            | 82            | 73            | 63            | 61            | 56            | 43            |
| Produktverwendung  | 3                            | 2             | 2             | 2             | 2             | 2             | 2             | 2             |
| Landwirtschaft   | 74                           | 70            | 70            | 69            | 68            | 68            | 68            | 68            |
| Abfallwirtschaft   | 27                           | 18            | 13            | 12            | 9             | 7             | 6             | 5             |
| <b>Gesamt</b>  | <b>1.038,7</b>               | <b>996,2</b>  | <b>977,1</b>  | <b>915,7</b>  | <b>849,5</b>  | <b>723,7</b>  | <b>636,2</b>  | <b>516,1</b>  |
| <i>ggü. 2005</i>   | <i>4,3%</i>                  | <i>-</i>      | <i>-1,9%</i>  | <i>-8,1%</i>  | <i>-14,7%</i> | <i>-27,4%</i> | <i>-36,1%</i> | <i>-48,2%</i> |
| <i>ggü. 1990</i>   | <i>-16,5%</i>                | <i>-19,9%</i> | <i>-21,5%</i> | <i>-26,4%</i> | <i>-31,7%</i> | <i>-41,8%</i> | <i>-48,9%</i> | <i>-58,5%</i> |
| <i>ggü. Basisjahr<sup>a</sup></i>  | <i>-15,7%</i>                | <i>-19,2%</i> | <i>-20,7%</i> | <i>-25,7%</i> | <i>-31,1%</i> | <i>-41,3%</i> | <i>-48,4%</i> | <i>-58,1%</i> |
| <i>Nachrichtlich:</i>  |                              |               |               |               |               |               |               |               |
| <i>Internat. ziviler Luftverkehr und internat. Seeverkehr</i>  | <i>26,8</i>                  | <i>31,4</i>   | <i>35,5</i>   | <i>34,0</i>   | <i>36,7</i>   | <i>38,5</i>   | <i>38,7</i>   | <i>37,2</i>   |
| 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 (2011 a+b), Berechnungen von Fraunhofer ISI, IEK-STE und Öko-Institut.

**Tab. 5-6: Entwicklung der gesamten Treibhausgasemissionen im Energiewende-Politik-Szenario nach Erfassung durch das EU ETS, 2000-2030**

|  | 2000                         | 2005         | 2008         | 2009         | 2015          | 2020          | 2025          | 2030          |
|--|------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|  | Mio. t CO <sub>2</sub> -Äqu. |              |              |              |               |               |               |               |
| CO <sub>2</sub> aus stat. ETS-Anlagen <sup>a</sup>   | 474,8                        | 480,0        | 472,5        | 428,8        | 407,7         | 328,7         | 289,8         | 220,3         |
| N <sub>2</sub> O aus stat. ETS-Anlagen <sup>a</sup>  | 5,2                          | 8,2          | 9,7          | 11,9         | 0,1           | 0,1           | 0,1           | 0,1           |
| THG-Emissionen nicht-ETS <sup>b</sup>  | 556,4                        | 505,9        | 492,8        | 472,9        | 440,1         | 393,4         | 345,0         | 294,6         |
| <b>Gesamt</b>  | <b>1.036,4</b>               | <b>994,1</b> | <b>975,0</b> | <b>913,5</b> | <b>847,9</b>  | <b>722,2</b>  | <b>634,9</b>  | <b>515,0</b>  |
| <i>Stat. ETS ggü. 2005<sup>a</sup></i>   | <i>-1,7%</i>                 | <i>-</i>     | <i>-1,2%</i> | <i>-9,7%</i> | <i>-16,5%</i> | <i>-32,7%</i> | <i>-40,6%</i> | <i>-54,8%</i> |
| <i>Nicht-ETS ggü. 2005<sup>b</sup></i>   | <i>10,0%</i>                 | <i>-</i>     | <i>-2,6%</i> | <i>-6,5%</i> | <i>-13,0%</i> | <i>-22,2%</i> | <i>-31,8%</i> | <i>-41,8%</i> |
| <i>Nachr.:</i>   |                              |              |              |              |               |               |               |               |
| <i>Flugverkehrs-ETS<sup>c</sup></i>  | <i>21,9</i>                  | <i>25,2</i>  | <i>27,1</i>  | <i>27,1</i>  | <i>28,4</i>   | <i>30,1</i>   | <i>30,1</i>   | <i>28,4</i>   |
| <i>Flug-ETS ggü. 2005</i>  | <i>-13,4%</i>                | <i>-</i>     | <i>7,3%</i>  | <i>7,3%</i>  | <i>12,7%</i>  | <i>19,5%</i>  | <i>19,4%</i>  | <i>12,4%</i>  |
| Anmerkung: <sup>a</sup> vom EU-ETS erfasste stationäre Anlagen in der Abgrenzung ab 2013. <sup>b</sup> Nicht-ETS-Emissionen ohne nationalen Flugverkehr. <sup>c</sup> Flugverkehrsemissionen im EU-ETS näherungsweise als Summe des nationalen und internationalen Flugverkehrs ermittelt. |                              |              |              |              |               |               |               |               |

Quellen: Berechnungen des Öko-Instituts.

Die Tab. 5-6 zeigt für das Energiewende-Szenario wiederum die Ergebnisse differenziert nach dem EU-Emissionshandelssystem unterliegenden Sektoren sowie den Quellbereichen, die den Verpflichtungen der sog. Effort-sharing-Entscheidung unterliegen.

Für die stationären Anlagen, die dem EU ETS unterliegen, ergibt sich im EWS eine Minderung von knapp 33 % bis 2020 sowie fast 55 % bis 2030 (jeweils im Vergleich zu 2005). Für die dem Effort sharing unterliegenden Emissionsquellen ergibt sich im EWS eine Minderung von knapp 22 % bis 2020 sowie von etwa 42 % bis 2030.

## 6 Quellenverzeichnis

### 6.1 Literatur

- AGEB (Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen) 2011: Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990-2010. Stand Juli 2011. Berlin, Köln. online: [www.ag-energiebilanzen.de](http://www.ag-energiebilanzen.de)
- AGFW (Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V.) 2011: AGFW-Hauptbericht 2010. Frankfurt.
- Albrecht, T. et al. 2010: Zum Sanieren motivieren: Eigenheimbesitzer zielgerichtet für eine energetische Sanierung gewinnen. Herausg.: Projektverbund ENEF-Haus (Energieeffiziente Sanierung von Eigenheimen), Berlin.
- Barthel, C. et al. 2010: Analyse der Vorstudien für Wohnungslüftung und Klimageräte – Veröffentlichung im Rahmen des Projektes "Materialeffizienz und Ressourcenschonung" (MaRes) - Arbeitspaket 14. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. UBA-Texte 30/2010. Online: <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/dateien/3946.htm>
- BBB (Bundesbaublatt) 2010: Neue Datenbasis zur Wohnraumförderung. Bundesbaublatt (BBB), Fachmedium für die Wohnungswirtschaft, Ausgabe 11/2010.
- BBSR (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung) 2011a: Fortführung der Kompensationsmittel für die Wohnraumförderung, Forschungsprogramm Allgemeine Ressortforschung des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), erstellt im Auftrag des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). RegioKontext GmbH, Plan und Praxis GbR, Berlin, Berlin.
- BBSR (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung) 2011b: Wohnungsmarktprognose 2025, Analysen Bau.Stadt.Raum, Band 4. Herausgeber: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), Bonn.
- BDH (Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V.) 2010: Trends und Herausforderungen im Wärmemarkt, Jahres-Pressekonferenz des BDH anlässlich der Deutschen Wärmekonferenz 2010 (vom 26.01.2010). Berlin.
- BDH (Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V.) 2011: Systeme und ihre Vorteile/ Energieeffizienz und erneuerbare Energien für Gebäude in der EU, ISH 2011 (vom 15.03.2011). Berlin.
- BDI (Bundesverband der Deutschen Industrie), VIK (Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft), VDEW (Verband der Elektrizitätswirtschaft), VDN (Verband der Netzbetreiber), ARE (Arbeitsgemeinschaft regionaler Energieversorgungs-Unternehmen), VKU (Verband kommunaler Unternehmen) 2001: Verbändevereinbarung über Kriterien zur Bestimmung von Netznutzungsentgelten für elektrische Energie und über Prinzipien der Netznutzung vom 13. Dezember 2001. Berlin, Essen, Hannover, Köln.
- BEA (U.S. Department of Commerce, Bureau of Economic Analysis) 2011: National Economic Accounts, Gross Domestic Product (GDP), Current-dollar and "real" GDP. Washington, DC (<http://www.bea.gov/national/xls/gdplev.xls>).
- Beer, M. et al. 2009: Energiezukunft 2050 - Teil II - Szenarien, Studie im Auftrag von EnBW, E.ON Energie, RWE Power, Vattenfall Europe, fEe-Auftragsnummer EVU-0001. Endbericht der Forschungsstelle

für Energiewirtschaft e.V. (fE) in Zusammenarbeit mit dem ifo Institut für Wirtschaftsforschung, München.

BITKOM (Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V.) 2008: Die Zukunft der digitalen Consumer Electronics, Berlin.

Blesl, M. 2010: Raumwärmebedarf und Fernwärmepotenzial der Haushalte in Deutschland bis 2050. Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 60. Jg. (2010) Heft 8.

BR (Bundesregierung) 2010: Etablierung der Nationalen Plattform Elektromobilität am 3. Mai 2010. Pressemitteilung

BR (Bundesregierung) 2011a: Das Energiekonzept der Bundesregierung 2010 und die Energiewende 2011. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin.

BR (Bundesregierung) 2011b: Mittelabfluss bei den KfW-Gebäudeprogrammen in 2010, Deutscher Bundestag, Antwort der Bundesregierung, Drucksache 17/5855. Preprint.

BRD (Bundesrepublik Deutschland) 2010: Nationaler Aktionsplan für erneuerbare Energie gemäß der Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen. 4. August 2010.

BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) 2006: Siedlungsabfallentsorgung in Deutschland. 1. September 2006. Berlin.

[http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/bericht\\_siedlungsabfallentsorgung\\_2006.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/bericht_siedlungsabfallentsorgung_2006.pdf)

BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) 2009. Erneuerbare Energien in Zahlen. Internet-Update ausgewählter Zahlen.

BMVBS (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung) 2007: ITP/BVU: Prognose der bundesweiten Verkehrsverflechtungen 2025. Im Auftrag des BMVBS; FE-Nr. 96.0857/2005; München/Freiburg.

BMVBS (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung) 2011: Wachstums- und Beschäftigungswirkungen des Investitionspaktes im Vergleich zur Städtebauförderung, BMVBS-Online-Publikation, Nr. 13/2011,. Herausgeber Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung (BMVBS), Projekt des Forschungsprogramms Allgemeine Ressortforschung, erstellt durch Bergische Universität Wuppertal, DIW econ GmbH, BMVBS und Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), Berlin.

BMW (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie) 2007: Pressemitteilung vom 21.11.2007. BMW und KfW Förderbank fördern die betriebliche Energieeffizienz. [www.bmw.de](http://www.bmw.de)

BMW (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie) 2011: Energiedaten - nationale und internationale Entwicklung (2011). Berlin.

BMW (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie), BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Berlin, 28. September 2010

Catenazzi, C. 2009: Advances in techno-economic energy modeling – Costs, dynamics and hybrid aspects, Dissertation, ETH Zürich, Zürich.

- CDU (Christlich Demokratische Union Deutschlands), CSU (Christlich-Soziale Union in Bayern), FDP (Freie Demokratische Partei) 2009: Wachstum. Bildung. Zusammenhalt. Der Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und FDP. 17. Legislaturperiode. 26. Oktober 2009
- Clausnitzer, K.-D. et al. 2007: Ermittlung von Effekten des KfW-CO2-Gebäudesanierungsprogramms - Entwicklung der Methodik und Ergebnisse der Berichtsperioden 2005 und 2006, Studie im Auftrag der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW). Bremer Energie Institut (BEI), Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU), Institut für Statistik, Fachbereich Mathematik und Informatik der Universität Bremen, Frankfurt.
- Clausnitzer, K.-D. et al. 2008: Effekte des CO2-Gebäudesanierungsprogramms 2007, Gutachten im Auftrag der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW),. Bremer Energie Institut (BEI), Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU), Institut für Statistik, Fachbereich Mathematik und Informatik der Universität Bremen, Frankfurt.
- Clausnitzer, K.-D. et al. 2009a: Effekte des CO2-Gebäudesanierungsprogramms 2008. Bremer Energie Institut (BEI), Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU), Frankfurt.
- Clausnitzer, K.-D. et al. 2009b: Effekte des CO2-Gebäudesanierungsprogramms 2008, Studie im Auftrag der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW). Bremer Energie Institut (BEI), Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU), Frankfurt.
- Clausnitzer, K.-D. et al. 2010a: Effekte der Förderfälle des Jahres 2009 des CO2-Gebäudesanierungsprogramms und des Programms „Energieeffizient Sanieren“. Bremer Energie Institut (BEI), Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU), Institut für Statistik, Fachbereich Mathematik und Informatik der Universität Bremen, Frankfurt.
- Clausnitzer, K.-D. et al. 2010b: Effekte der Förderfälle des Jahres 2009 des CO2-Gebäudesanierungsprogramms und des Programms „Energieeffizient Sanieren“, Studie im Auftrag der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW). Bremer Energie Institut (BEI), Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU), Institut für Statistik, Fachbereich Mathematik und Informatik der Universität Bremen, Frankfurt.
- DECC (Department for Energy and Climate Change) 2010: Updated energy and emissions projections. London, June 2010.
- Delhotal, K. et al. 2006: Mitigation of Methane and Nitrous Oxide Emissions from Waste. Energy and Industry. The Energy Journal 27: 45-62.
- DENA (Deutsche Energie-Agentur) 2008: Initiative-Energieeffizienz (<http://www.initiative-energieeffizienz.de> Zugriff 10.12.2008).
- DENA (Deutsche Energie-Agentur) 2011: Deutschland ist noch unsaniert. Pressemitteilung vom 12. Dezember 2011, Berlin.
- Destatis (Statistisches Bundesamt) 2006: Bevölkerung Deutschlands bis 2050. 11. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. Wiesbaden, November 2006.
- Destatis (Statistisches Bundesamt) 2009: Bevölkerung Deutschlands bis 2060. 12. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. Wiesbaden, November 2009.
- Destatis (Statistisches Bundesamt) 2010a: Erneute Bevölkerungsabnahme für 2009 erwartet. Pressemitteilung Nr. 028 vom 21.01.2010.

- Destatis (Statistisches Bundesamt) 2010b: Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Inlandsproduktsberechnung, Detaillierte Jahresergebnisse. Fachserie 18 Reihe 1.4, Wiesbaden, August 2010.
- Destatis (Statistisches Bundesamt) 2011c: Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Inlandsproduktsberechnung, Lange Reihen ab 1970. Fachserie 18 Reihe 1.5, Wiesbaden, 27.09.2011.
- Destatis (Statistisches Bundesamt) 2001-2009: Fachserie 19, Reihe 1 Abfallentsorgung.
- Destatis (Statistisches Bundesamt) 1990-2009: Fachserie 19, Reihe 2.1 Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung.
- Destatis (Statistisches Bundesamt) 2011a: Bauen und Wohnen - Baugenehmigungen/Baufertigstellungen, Lange Reihen z. T. ab 1949. Statistisches Bundesamt Deutschland, Wiesbaden.
- Destatis (Statistisches Bundesamt) 2011b: Bauen und Wohnen - Bestand an Wohnungen am 31.12.2010, Fachserie 5, Reihe 3. Statistisches Bundesamt Deutschland, Wiesbaden.
- Destatis (Statistisches Bundesamt) 2012: Bauen und Wohnen, Mikrozensus - Zusatzerhebung 2010 - Bestand und Struktur der Wohneinheiten, Wohnsituation der Haushalte, Fachserie 5, Heft 1 Statistisches Bundesamt (STBA), Wiesbaden.
- Destatis (Statistisches Bundesamt) 2008: Monatsbericht über die Elektrizitätsversorgung (Tabelle 066). Statistisches Bundesamt.
- Destatis (Statistisches Bundesamt) 2010: Fachserie 4, Reihe 6.4. Produzierendes Gewerbe. Stromerzeugungsanlagen der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden. Erschienen am 6. Oktober 2009, korrigiert am 04. Februar 2010. (Vol. 49). Wiesbaden.
- Diefenbach, N. et al. 2011: Monitoring der KfW-Programme „Energieeffizient Sanieren“ 2010 und „Ökologisch / Energieeffizient Bauen“ 2006 - 2010. Bremer Energie Institut (BEI), Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU), Frankfurt.
- Diekmann, J. et al. 2005. Klimaschutz in Deutschland bis 2030. Endbericht zum Forschungsvorhaben Politiksznarien III. Climate Change. Umweltbundesamt.
- DIN V 4108-6: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs
- DIN V 4701-10: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen - Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung
- DIN EN 16001: Energiemanagementsysteme - Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung
- DIN V 18599: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung
- DIN EN ISO 50001: Energiemanagementsysteme - Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung
- DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt), Fraunhofer IWES (Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik), IFNE (Ingenieurbüro für neue Energien) 2010: Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global (Leitstudie). BMU Berlin, Dezember 2010.

- Ecofys, AEAT (2001): Hendricks, C. de Jager, D., Blok, K., de Beer, J., Harnisch, J., Joosen, S., Phylipsen, D., Kerssemeeckers, M., Byers, C. Patel, M. (Ecofys), Bates, J., Brand, C., Davison, P., Haworth, A., Hill, N. (AEAT): Economic Evaluation of Sectoral Emission Reduction Objectives for Climate Change. Bottom-up Analysis of Emission Reduction Potentials and Costs for Greenhouse Gases in the EU. Europäische Kommission, März 2001.
- EIA (Energy Information Administration) 2010a: Spot Prices for Crude Oil and Petroleum Products. Washington, D.C., December 1, 2010.
- EIA (Energy Information Administration) 2010b: International Energy Outlook 2010. Washington D.C., July 2010.
- Entso-e (European Network of Transmission System Operators for Electricity) 2008: Consumption Data. Retrieved from
- EC (European Commission/Europäische Kommission) 2009a: "Gesundheitscheck" der Gemeinsamen Agrarpolitik unter [http://ec.europa.eu/agriculture/healthcheck/index\\_de.htm](http://ec.europa.eu/agriculture/healthcheck/index_de.htm)
- EC (European Commission/Europäische Kommission) 2009b: Consumer Survey on the Graphic Layouts of the Community Energy Label. Brüssel, 28. September 2009
- COM 2009: Communication from the Commission to the Council and the European Parliament. 7 measures for 2 million new EU jobs. Draft October 2009.
- EC (European Commission/Europäische Kommission) 2010: EU Energy trends to 2030. Update 2009. Luxembourg.
- EC (European Commission/Europäische Kommission) 2011: Determining transitional Union-wide rules for harmonised free allocation of emission allowances pursuant to Article 10a of Directive 2003/87/EC of the European Parliament and the Council.
- EuP Preparatory Studies Lot 3 2007: Personal Computers (desktops and laptops) and Computer Monitors, Final Report, August 2007, (<http://www.ecocomputer.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 10 2008: "Residential room conditioning conditioning appliances (airco and ventilation). Final Report. März 2009 (<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 16 2008: "Domestic dishwashers and washing machines". Final report. März 2009 ([www.ecodryers.org/index.php](http://www.ecodryers.org/index.php))
- EuP Preparatory Studies Lot 18 2008: "Domestic dishwashers and washing machines". Final report. Dezember 2008 ([www.ecocomplexstb.org/](http://www.ecocomplexstb.org/))

EuP Preparatory Studies Lot 19 2008: "Domestic lighting". Final report. Oktober 2009.

[\(http://www.eup4light.net/\)](http://www.eup4light.net/)

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 2008a: Statistical Yearbook 2007-2008. Tabelle D1 "Dietary energy protein and fat consumption"

<http://www.fao.org/economic/ess/publications-studies/statistical-yearbook/fao-statistical-yearbook-2007-2008/d-consumption/en/>

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 2008b: Food Security Statistics 2008.

"Food consumption pattern of main food groups, Dietary Protein (07.08.2008)":

<http://www.fao.org/economic/ess/food-security-statistics/en/>

Fischer, C. 2007: Influencing Electricity Consumption via Consumer Feedback. A Review of Experience, in: TIPS, Paper submitted to the ECEEE 2007 Summer Study, 4-9 June 2007.

Fischer, C. 2008: Feedback on household electricity consumption: a tool for saving energy? Energy Efficiency 1 (1) 79-103.

FNR (Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V.) 2007: Daten und Fakten zu nachwachsenden Rohstoffen. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR).

Forsa, DENA (Deutsche Energie-Agentur) 2009: Wahrnehmung und Wirkung alternativer Energielabel-Entwürfe. Prä-sentation zentraler Ergebnisse. Berlin, 15. Oktober 2009.

<http://www.dena.de/de/infos/veranstaltungen/archiv/veranstaltung/workshop-eu-label/>

Fraunhofer IZM (Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration), Fraunhofer ISI (Institut für System- und Innovationsforschung) 2009: Abschätzung des Energiebedarfs der weiteren Entwicklung der Informationsgesellschaft. Studie im Auftrag des BMWi. Berlin, Karlsruhe, 2009.

Fraunhofer ISI (Institut für System- und Innovationsforschung), BSR Sustainability, European Climate Forum, Ökozentrum NRW, Potsdam Institut für Klimafolgenforschung 2008: Investitionen für ein klimafreundliches Deutschland. Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Potsdam.

Gabriel, J.; Balmert, D. 2007: Effekte des CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramms 2005 und 2006 - Zusatzauswertung, Gutachten im Auftrag der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW). Bremer Energie Institut (BEI), Frankfurt.

Geroski, P.A. 2000: Models of technology diffusion, in: Research Policy 29, S. 603-625, London, 2000.

GfK (Gesellschaft für Konsumforschung) 2002-2010: GfK Retail Panel Haushaltsgeräte Deutschland 1998-2008 – Waschmaschinen, Wäschetrockner, Geschirrspülmaschine, Kühlschrank, Gefrierschrank, Kochen und Klimaanlage, Nürnberg.

GfK (Gesellschaft für Konsumforschung) 2010: Panelmarkt Germany 2002-2008 – Waschmaschinen, Wäschetrockner, Geschirrspülmaschine, Kühlschrank, Gefriergerät, Kochen. Zusammenstellung im Auftrag des Fraunhofer ISI. Nürnberg: GfK 2010.

Gores, S.; Harthan, R. 2011: Gutes Jahr für BHKW-Anbieter. Energie & Management, 11(23-24), 38-39.

Gruber, E. et al. 2006: Marktstudie Sonderfonds für Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe, Karlsruhe: Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung; Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien (IREES).

- Hansen, P.; Kleemann, P. 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.
- Heinzle, S.; Wüstenhagen, R. 2009: Consumer survey on the new format of the European Energy Label for televisions. Working Paper No. 3 within the project: Soziale, ökologische und ökonomische Dimensionen eines nachhaltigen Energiekonsums in Wohngebäuden. Funded under the BMBF Programme „Vom Wissen zum Handeln- Neue Wege zum nachhaltigen Konsum“. St. Gallen, August 2009.
- Horn, M. et al. 2007: Ermittlung der Potenziale für die Anwendung der Kraft-Wärme-Kopplung und der erzielbaren Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen einschließlich Bewertung der Kosten (Verstärkte Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung). Umweltbundesamt.
- IEA (International Energy Agency) 2010: World Energy Outlook 2010. Paris.
- IER (Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung der Universität Stuttgart), RWI (Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung), ZEW (Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung) 2010: Die Entwicklung der Energiemärkte bis 2030. Energieprognose 2009. Untersuchung im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Stuttgart, Essen, Mannheim, März 2010.
- IFEU (Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg) 2003: Detzel, A., Vogt, R., Fehrenbach, H., Knappe, F., Gromke, U., IFEU - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH: Anpassung der deutschen Methodik zur rechnerischen Emissionsermittlung an internationale Richtlinien. Teil Abfall/Abwasser, Februar 2003
- IFEU (Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg) 2010: Fortschreibung und Erweiterung "Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030 (TREMODO, Version 5). Im Auftrag des UBA, Heidelberg.
- IFEU (Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg), 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.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 2007: Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Metz, B., Davidson, O.R., Bosch, P.R., Dave, R., Meyer, L.A. (eds): Mitigation of Climate Change. Waste management and mitigation costs and potentials. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IREES (Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien), Fraunhofer ISI (Institut für System- und Innovationsforschung) 2010: Evaluierung des Förderprogramms "Energieeffizienzberatung" als Komponente des Sonderfonds "Energieeffizienz in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU)". Karlsruhe.
- Jochem, E.; Gruber, E. 2007: Local Learning-networks on energy efficiency in industry – Successful initiative in Germany. In Applied Energy Vol 84 S. 806-816.
- Jochem et al. 2008: Investitionen für ein klimafreundliches Deutschland, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Potsdam 2008.

- KEMA 2009: Endenergieeinsparungen durch Einsatz intelligenter Messverfahren (Smart Meter). Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Bonn.
- Kless, S.; Veldues, B. 2008: Auszug aus Wirtschaft und Statistik: Ausgewählte Ergebnisse für kleine und mittlere Unternehmen in Deutschland 2005. Statistisches Bundesamt: Wiesbaden.
- Kley, F.; Wietschel, M. 2010: Referenzmodell für Elektrofahrzeuge und Beladeinfrastruktur. Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research, Karlsruhe.
- KfW 2007: Sonderfonds Energieeffizienz. KMU: Zuschüsse für Energieberatungen. [www.kfw.de](http://www.kfw.de)
- KfW Förderbank 2008a: Sonderfonds Energieeffizienz in kleinen und mittleren Unternehmen. 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).
- Krause et al. 2011: Bewertung der Energieversorgung mit leitungsgebundenen gasförmigen Brennstoffen im Vergleich zu anderen Energieträgern – Einfluss moderner Gasttechnologien in der häuslichen Energieversorgung auf Effizienz und Umwelt, Abschlussbericht, DVGW G5/04/09-TP2. Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW), Bonn.
- Langniß, O. et al. 2010: Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (Marktanreizprogramm) für den Zeitraum 2009 bis 2011 - Evaluierung des Förderjahres 2009. Ausarbeitung im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), erstellt durch Fichtner GmbH & Co. KG, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Energie- und Umweltforschung (IFEU), Deutsches GeoForschungszentrum (GFZ), Solar- und Wärmetechnik (SWT), Technologie- und Förderzentrum (TFZ).
- Langniß, O. et al. 2011: Evaluierung des Marktanreizprogramms für erneuerbare Energien: Ergebnisse der Förderung für das Jahr 2010 - Auszug aus dem Gutachten "Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt für den Zeitraum 2009 bis 2011". Ausarbeitung im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), erstellt durch Fichtner GmbH & Co. KG, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Energie- und Umweltforschung (IFEU), Deutsches GeoForschungszentrum (GFZ), Solar- und Wärmetechnik (SWT) Berlin.
- Matthes, F. Chr. et al. 2009: Politiksznarien für den Klimaschutz V – auf dem Weg zum Strukturwandel. Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030. Untersuchung von Öko-Institut, DIW Berlin, FZ Jülich IEF-STE, Fraunhofer ISI, Ziesing, H.-J. im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA). Climate Change 16/2009. Dessau-Roßlau, Oktober 2009. online: <http://www.uba.de>
- Nast, M. 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.; Leprich, U. 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. et al. 2010: Folgevorhaben zu „Ergänzende Untersuchungen und vertiefte Analysen zu möglichen Ausgestaltungsvarianten eines Wärmegesetzes. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Öko-Institut e.V., Fraunhofer Institut für Systemforschung (ISI), Bremer Energie-Institut und

Hochschule für Wirtschaft und Recht Berlin im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin.

Offermann, F. et al. (2012): vTI-Baseline 2009-2021: Agrarökonomische Projektionen für Deutschland. Johann Heinrich von Thünen-Institut. Landbauforschung Sonderheft. Braunschweig.

Oschatz, B et al. 2009: Überarbeitung der Technischen Regeln zur Novelle der Heizkostenverordnung. BBSR-Online-Publikation, Nr. 04/2009 - Endbericht, Bearbeitung von Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden und Forschung, Anwendung GmbH und Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung (BMVBS), Bonn.

Öko-Institut, DENA (Deutsche Energie-Agentur), Ö-Quadrat 2008: Konzeption eines produktbezogenen Impulsprogramms im Rahmen der Nationalen Klimaschutz-Initiative. Freiburg, 9. September 2008

Öko-Institut, FZJ (Forschungszentrum Jülich), DIW Berlin (Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung), Fraunhofer ISI (Institut System- und Innovationsforschung) 2008: Politikszenerien für den Klimaschutz IV. Szenarien bis 2030. Berlin, Jülich und Karlsruhe. UBA Climate Change 1/2008.

Öko-Institut 2010: Energiepreise für aktuelle Modellierungsarbeiten. Regressionsanalytisch basierte Projektionen. Teil 1: Preise für Importenergien und Kraftwerksbrennstoffe. Berlin, März 2010.

Öko-Institut, IFEU (Institut für Energie- und Umweltforschung) 2010: Klimaschutzpotentiale der Abfallwirtschaft am Beispiel von Siedlungsabfällen und Altholz (FKZ 3708 31 302), Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Darmstadt/Heidelberg/Berlin Januar 2010.

Öko-Recherche 2009: Schwarz, W.; Gschrey; B.: „Service contract to assess the feasibility of options to reduce emissions of SF6 from the EU non-ferrous metal industry and analyse their potential impacts“; Final report, prepared for the European commission, DG Environment, October 2009

Öko-Recherche 2011: Barbara Gschrey und Winfried Schwarz: „Projektionen zu den Emissionen von HFKW, FKW und SF6 für Deutschland bis zum Jahr 2050“; UBA Climate Change Nr. 21/2011

Olonscheck, M.; Holsten, A.; Kropp, J. P. 2011: Heating and cooling energy demand and related emissions of the German residential building stock under climate change, in: Energy Policy 39, S. 4795-4806, Potsdam.

OPEC (Organization of the Petroleum Exporting Countries) 2010: World Oil Outlook. Vienna, 2010.

PIK (Potsdam Institut für Klimafolgenforschung), University of Oxford, E3M-Lab, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, ECF (European Climate Forum) 2011: A New Growth Path for Europe. Generating Prosperity and Jobs in the Low-Carbon Economy. Synthesis Report for the German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, Potsdam.

Platts 2009. World Electric Power Plants Database. Platts.

Prognos, EWI (Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln) 2006: Auswirkungen höherer Ölpreise auf Energieangebot und -nachfrage. Ölpreisvariante der Energiewirtschaftlichen Referenzprognose 2030. Köln, Basel, 2006.

Prognos 2007: Potenziale für Energieeinsparung und Energieeffizienz im Lichte aktueller Preisentwicklungen, Basel, Berlin.

- Prognos, EWI (Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln), GWS (Gesellschaft für wirtschaftliche Strukturforchung) 2010: Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung. Projekt Nr. 12/10 des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologien. Basel, Köln, Osnabrück, 27. August 2010.
- Prognos, Öko-Institut, Ziesing, H.-J. 2009: Modell Deutschland. Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken. Report für die WWF Umweltstiftung Deutschland. Basel, Berlin, 15. Oktober 2009.
- Prognos, TU München Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik; Fraunhofer ISI (Institut für System- und Innovationsforschung) 2011: Datenbasis zur Bewertung von Energieeffizienzmaßnahmen 2008. Berlin, Karlsruhe, München.
- Sachverständigenrat (Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung) 2011: Herausforderungen des demografischen Wandels, Expertise im Auftrag der Bundesregierung. Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung, Statistisches Bundesamt Deutschland, Wiesbaden.
- Schade W., Akkermans L., Fiorello D., Jopson A., Köhler J., Krail M., Moizo A., Schade B., Shepherd S., Sievers L., Tercero L., vanHerle K., Weiss C., Wiesenthal T. (2011): Bottom-up quantifications of selected measures to reduce GHG emissions of transport for the time horizons 2020 and 2050: Cost assessment of GHG mitigation measures of transport. Bericht D3.1 des Projektes GHG-TransPoRD (Reducing greenhouse-gas emissions of transport beyond 2020: linking R&D, transport policies and reduction targets) gefördert durch das 7. Rahmenprogramm der EU. Fraunhofer-ISI, Karlsruhe, Deutschland.
- Schlomann, B. et al. 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.
- Schlomann et al. 2009: Survey of Compliance Directive 92/75/EEC. On behalf of the European Commission (DG TREN). Fraunhofer ISI in cooperation with GfK Marketing Services and BSR Sustainability GmbH. Karlsruhe, Nürnberg, 4 January 2009.
- Schlomann, B. et al. 2011: Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) in Deutschland für die Jahre 2007 bis 2010, Projektnummer 53/09, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi). Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik (IfE) der Technischen Universität München, GfK Retail and Technology GmbH, Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien (IREES GmbH), BASE-ING GmbH, Karlsruhe, München, Nürnberg.
- Schwarz, W. et al. 2011: Preparatory study for a review of Regulation (EC) No 842/2006 on certain fluorinated greenhouse gases; Final Report. Prepared for the European Commission in the context of Service Contract No 070307/2009/548866/SER/C4.
- Sothmann, D. 2007: Feedbacksysteme für Tarifkunden, Diplomarbeit am Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, August 2007.
- StBA 2008: Bauen und Wohnen, Mikrozensus 2006 und Zusatzerhebung, Bestand und Struktur der Wohneinheiten, Wohnsituation der Haushalte, Fachserie 5, Heft 1, Wiesbaden.
- StBA 2010: Produktionsdatenbank (Prodcom), <http://www.eds-destatis.de/de/theme4/prodcom.php>, Wiesbaden.

- Struschka, M. et al. 2008: Effiziente Bereitstellung aktueller Emissionsdaten für die Luftreinhaltung, Universität Stuttgart, Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen (IVD), Studie im Auftrag des Umweltbundesamts (UBA), Umweltforschungsplan – Forschungsbericht 205 42 322, Dessau.
- UBA (Umweltbundesamt) 2008: Umweltschädliche Subventionen in Deutschland. Dessau.
- UBA (Umweltbundesamt) 2010: G., Schüler, D. (Öko-Institut), Vogt, R., Giegrich, J. (IFEU): Klimaschutzpotenziale der Abfallwirtschaft am Beispiel von Siedlungsabfällen und Altholz. Umweltbundesamt (UBA) Dessau-Roßlau, März 2010.
- UBA (Umweltbundesamt) 2011a: Nationaler Inventarbericht zum deutschen Treibhausgasinventar 1990-2009. Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen. Dessau-Roßlau.
- UBA (Umweltbundesamt) 2011b: Datenauszug aus dem Zentralen System Emissionen (ZSE) vom 27.10.2011. Dessau-Roßlau.
- UBA (Umweltbundesamt) 2012: Nationaler Inventarbericht zum deutschen Treibhausgasinventar 1990-2010. Berichterstattung an die EU. Umweltbundesamt (UBA). Dessau-Roßlau.
- WoFG (Wohnraumförderungsgesetz) 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)".
- WPZW 2010: Wärmepumpentestzentrum WPZ Buchs, Prüfergebnisse Sole/Wasser- und Wasser/Wasser-Wärmepumpen basierend auf EN 14511. In: WPZ-Bulletin 01/2010, CH – Buchs, 2010.
- ZVEI (Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie) div. Jgg.: Zahlenspiegel des deutschen Elektro-Hausgerätemarktes. Frankfurt, verschiedenen Jahrgänge. online: [www.zvei.org](http://www.zvei.org)
- ZVEI 2006-2009: Zahlenspiegel des deutschen Elektro-Hausgerätemarktes 2005-2008, Frankfurt.
- ZIV (Zentralinnungsverband) 2010: Erhebungen des Schornsteinfegerhandwerks. Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks – Zentralinnungsverband (ZIV), Sankt Augustin.

## 6.2 Deutsche Gesetze und Verordnungen

13. BImSchV: Dreizehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Großfeuerungs- und Gasturbinenanlagen)
17. BImSchV: Siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen)
30. BImSchV: Dreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Anlagen zur biologischen Behandlung von Abfällen)
36. BImSchV: Sechsdreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Durchführung der Regelungen der Biokraftstoffquote)
- AbfAbIV: Abfallablagerungsverordnung (Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen)
- AtG 2011: Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz) vom 15. Juli 1985, geändert am 6. August 2011

- BioKraftQuG: Gesetz zur Einföhrung einer Biokraftstoffquote durch Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und zur Änderung energie- und stromsteuerrechtlicher Vorschriften (Biokraftstoffquotengesetz)
- BGB: Bürgerliches Gesetzbuch
- ChemKlimaschutzV: Verordnung zum Schutz des Klimas vor Veränderungen durch den Eintrag bestimmter fluorierter Treibhausgase (Chemikalien-Klimaschutzverordnung)
- EBPG: Gesetz über die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte (Energiebetriebene-Produkte-Gesetz)
- EEG 2000: Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz) vom 29. März 2000
- EEG 2004: Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz) vom 21. Juli 2004
- EEG 2008: Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz) vom 25. Oktober 2008
- EEG 2011: Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz) vom 25. Oktober 2008, zuletzt geändert am 22. Dezember 2011
- EKFG-ÄndG: Gesetz zur Änderung des Gesetzes zur Errichtung eines Sondervermögens „Energie- und Klimafonds“ (EKFG-ÄndG) vom 29. Juli 2011.
- EGEnergieStG: Gesetz zur Neuregelung der Besteuerung von Energieerzeugnissen und zur Änderungen des Stromsteuergesetzes
- EnergieStG: Energiesteuergesetz
- EnVKG: Gesetz zur Kennzeichnung von energieverbrauchsrelevanten Produkten, Kraftfahrzeugen und Reifen mit Angaben über den Verbrauch an Energie und an anderen wichtigen Ressourcen (Energieverbrauchskennzeichnungsgesetz)
- EnVKV: Verordnung über die Kennzeichnung von Haushaltsgeräten mit Angaben über den Verbrauch an Energie und anderen wichtigen Ressourcen (Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung)
- EnEV 2007: Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung) vom 24. Juli 2007
- EnEV 2009 (Energieeinsparverordnung) vom 24. Juli 2007, geändert am 29. April 2009
- EnEV 2012 (Energieeinsparverordnung)
- EnEV 2013 (Energieeinsparverordnung)
- EnWG: Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetzes)
- EEWärmeG: Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz)
- Gesetzes zur Neuregelung der Besteuerung von Energieerzeugnissen und zur Änderungen des Stromsteuergesetzes vom 15. Juli 2006 (BGBl. I Nr. 33, S. 1534 – 1561)
- HeizkostenV: Verordnung über die verbrauchsabhängige Abrechnung der Heiz- und Warmwasserkosten (Verordnung über Heizkostenabrechnung)

- KWKG 2000: Gesetz zum Schutz der Stromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung (KWKG-Vorschaltgesetz) vom 12. Mai 2000
- KWKG 2002: Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz) vom 19. März 2002
- KWKG 2008: Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz) vom 19. März 2002, geändert am 25. Oktober 2008
- KWKG 2009: Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz) vom 19. März 2002, geändert am 25. Oktober 2008
- KWKG 2011: Gesetz zur Neuregelung energiewirtschaftsrechtlicher Vorschriften (BT Drucksache 17/6072) vom 04. August 2011
- KWKG 2012: Gesetz zur Änderung des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes vom 12. Juli 2012
- Pkw-EnVKV: Verordnung über Verbraucherinformationen zu Kraftstoffverbrauch, CO<sub>2</sub>-Emissionen und Stromverbrauch neuer Personenkraftwagen (Pkw-Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung)
- StromNEV: Verordnung über die Entgelte für den Zugang zu Elektrizitätsversorgungsnetzen (Stromnetzentgeltverordnung)
- StromStG: Stromsteuergesetz
- TA Luft: Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft)
- TASi: Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen)
- VgV: Verordnung über die Vergabe öffentlicher Aufträge (Vergabeordnung)
- WärmeschutzV 1994: Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung) vom 16. August 1994
- Wärmeschutzverordnung 1977/1978: Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung) vom 11. August 1977
- WHG: Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz)
- WoFG: Gesetz über die soziale Wohnraumförderung (Wohnraumförderungsgesetz)

### **6.3 EU-Richtlinien und Verordnungen**

- Richtlinie 91/271/EWG des Rates vom 21. Mai 1991 über die Behandlung von kommunalem Abwasser
- 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 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

- 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
- Richtlinie 2006/40/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Emissionen aus Klimaanlage in Kraftfahrzeugen und zur Änderung der Richtlinie 70/156/EWG des Rates
- Richtlinie 2003/87/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Oktober 2003 über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Gemeinschaft und zur Änderung der Richtlinie 96/61/EG des Rates
- Richtlinie 2003/96/EG des Rates vom 27. Oktober 2003 zur Restrukturierung der gemeinschaftlichen Rahmenvorschriften zur Besteuerung von Energieerzeugnissen und elektrischem Strom
- Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG
- Richtlinie 2009/29/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Änderung der Richtlinie 2003/87/EG zwecks Verbesserung und Ausweitung des Gemeinschaftssystems für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten
- Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte
- Richtlinie 406/2009/EC : Effort Sharing Decision
- Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Angabe des Verbrauchs an Energie und anderen Ressourcen durch energieverbrauchsrelevante Produkte mittels einheitlicher Etiketten und Produktinformationen
- Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden
- Verordnung (EG) Nr. 1698/2005 des Rates vom 20. September 2005 über die Förderung der Entwicklung des ländlichen Raums durch den Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER)
- Verordnung (EG) Nr. 842/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über bestimmte fluorierte Treibhausgase
- Verordnung (EG) Nr. 443/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Festsetzung von Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen im Rahmen des Gesamtkonzepts der Gemeinschaft zur Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen
- Verordnung (EG) Nr. 765/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. Juli 2008 über die Vorschriften für die Akkreditierung und Marktüberwachung im Zusammenhang mit der Vermarktung von Produkten und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 339/93 des Rates
- Delegierte Verordnung (EU) Nr. 1059/2010 der Kommission vom 28. September 2010 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Kennzeichnung von Haushaltsgeschirrspülern in Bezug auf den Energieverbrauch

Delegierte Verordnung (EU) Nr. 1060/2010 der Kommission vom 28. September 2010 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Kennzeichnung von Haushaltskühlgeräten in Bezug auf den Energieverbrauch

Delegierte Verordnung (EU) Nr. 1061/2010 der Kommission vom 28. September 2010 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Kennzeichnung von Haushaltswaschmaschinen in Bezug auf den Energieverbrauch

Delegierte Verordnung (EU) Nr. 1062/2010 der Kommission vom 28. September 2010 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Kennzeichnung von Fernsehgeräten in Bezug auf den Energieverbrauch

## 7 Anhang

### 7.1 Instrumententypen

Tab. 7-1: 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).

## 7.2 Endenergieverbräuche in den Endverbrauchssektoren

In den folgenden Tabellen werden für die Jahre 2000, 2005, 2008 und 2009 die Endenergieverbräuche dargestellt, wie sie aus dem ZSE gewonnen wurden, anschließend daran werden die prognostizierten Endenergieverbräuche für die Jahre 2015 bis 2030 aufgeführt. Dieser methodische Wechsel führt dazu, dass es bei einzelnen Energieträgern zu einem Bruch in der Darstellung kommt, wenn z.B. die Werte für diesen Energieträger nicht entsprechend aus dem ZSE gewonnen werden konnten.

Tab. 7-2: Endenergieverbrauch der privaten Haushalte - Aktuelle-Politik-Szenario

| Private Haushalte – Aktuelle-Politik-Szenario |               |              |              |              |               |              |              |              |
|---|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| Energieträger                                 | Inventardaten |              |              |              | Prognosedaten |              |              |              |
|   | 2000          | 2005         | 2008         | 2009         | 2015          | 2020         | 2025         | 2030         |
| Endenergieverbrauch in PJ                     |               |              |              |              |               |              |              |              |
| Steinkohlen                                   | 20            | 14           | 24           | 20           | 20            | 18           | 17           | 15           |
| Steinkohlenkoks                               | 8             | 1            | 1            | 1            | 1             | 1            | 0            | 0            |
| Braunkohlenprodukte                           | 20            | 17           | 18           | 19           | 15            | 13           | 11           | 9            |
| Heizöl leicht                                 | 777           | 686          | 647          | 560          | 556           | 491          | 425          | 359          |
| Erdgas  | 948           | 985          | 940          | 982          | 913           | 869          | 825          | 781          |
| Biogas  |               |              |              |              | 9             | 13           | 19           | 25           |
| Feste Biomasse                                | 165           | 184          | 204          | 209          | 247           | 277          | 308          | 338          |
| Andere Mineralölprodukte                      | 39            | 29           | 31           | 31           | 0             | 0            | 0            | 0            |
| Stadtgas                                      | 0             | 0            | 0            | 0            | 0             | 0            | 0            | 0            |
| Solarenergie                                  |               |              |              |              | 20            | 28           | 35           | 42           |
| Umweltwärme                                   |               |              |              |              | 37            | 53           | 68           | 83           |
| Fern- und Nahwärme                            |               |              |              |              | 175           | 180          | 184          | 189          |
| Strom   |               |              |              |              | 509           | 492          | 467          | 447          |
| <b>Summe</b>                                  | <b>1.977</b>  | <b>1.917</b> | <b>1.865</b> | <b>1.822</b> | <b>2.502</b>  | <b>2.435</b> | <b>2.357</b> | <b>2.287</b> |

Quelle: UBA (2011a+b), Berechnungen von IEK-STE, Fraunhofer ISI und Öko-Institut.

Tab. 7-3: Endenergieverbrauch der privaten Haushalte - Energiewende-Szenario

| Private Haushalte – Energiewende-Szenario |               |              |              |              |               |              |              |              |
|---|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| Energieträger                             | Inventardaten |              |              |              | Prognosedaten |              |              |              |
|   | 2000          | 2005         | 2008         | 2009         | 2015          | 2020         | 2025         | 2030         |
| Endenergieverbrauch in PJ                 |               |              |              |              |               |              |              |              |
| Steinkohlen                               | 20            | 14           | 24           | 20           | 19            | 16           | 13           | 9            |
| Steinkohlenkoks                           | 8             | 1            | 1            | 1            | 1             | 1            | 0            | 0            |
| Braunkohlenprodukte                       | 20            | 17           | 18           | 19           | 14            | 11           | 7            | 3            |
| Heizöl leicht                             | 777           | 686          | 647          | 560          | 516           | 382          | 220          | 61           |
| Erdgas                                    | 948           | 985          | 940          | 982          | 879           | 758          | 628          | 525          |
| Biogas                                    |               |              |              |              | 18            | 54           | 79           | 80           |
| Feste Biomasse                            | 165           | 184          | 204          | 209          | 260           | 308          | 358          | 409          |
| Andere Mineralölprodukte                  | 39            | 29           | 31           | 31           | 0             | 0            | 0            | 0            |
| Stadtgas                                  | 0             | 0            | 0            | 0            | 0             | 0            | 0            | 0            |
| Solarenergie                              |               |              |              |              | 23            | 33           | 43           | 53           |
| Umweltwärme                               |               |              |              |              | 41            | 62           | 82           | 102          |
| Fern- und Nahwärme                        |               |              |              |              | 177           | 184          | 192          | 200          |
| Strom                                     |               |              |              |              | 464           | 431          | 391          | 348          |
| <b>Summe</b>                              | <b>1.977</b>  | <b>1.917</b> | <b>1.865</b> | <b>1.822</b> | <b>2.412</b>  | <b>2.240</b> | <b>2.013</b> | <b>1.790</b> |

Quelle: UBA (2011a+b), Berechnungen von IEK-STE, Fraunhofer ISI und Öko-Institut.

Tab. 7-4: Endenergieverbrauch von Gewerbe Handel, Dienstleistungen (GHD) - Aktuelle-Politik-Szenario

| Gewerbe, Handel, Dienstleistungen – Aktuelle-Politik-Szenario |               |            |            |            |               |              |              |              |
|---|---------------|------------|------------|------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| Energieträger   | Inventardaten |            |            |            | Prognosedaten |              |              |              |
|   | 2000          | 2005       | 2008       | 2009       | 2015          | 2020         | 2025         | 2030         |
| <b>Endenergieverbrauch in PJ</b>                              |               |            |            |            |               |              |              |              |
| Steinkohle  | 13            | 7          | 14         | 11         | 12            | 11           | 10           | 9            |
| Braunkohlen   | 7             | 2          | 4          | 3          | 3             | 3            | 2            | 2            |
| Heizöl leicht   | 285           | 262        | 248        | 212        | 214           | 190          | 165          | 140          |
| Heizöl schwer   |               |            |            |            | 0             | 0            | 0            | 0            |
| Benzin  | 12            | 11         | 9          | 9          | 9             | 8            | 7            | 6            |
| Diesel  | 58            | 52         | 51         | 50         | 49            | 46           | 42           | 38           |
| Flugtreibstoff  | 10            | 2          | 4          | 4          | 3             | 3            | 3            | 3            |
| Erdgas  | 445           | 370        | 401        | 389        | 383           | 367          | 351          | 335          |
| LPG   | 9             | 28         | 21         | 21         | 20            | 19           | 17           | 15           |
| Stadtgas  | 0             | 0          | 0          | 0          | 0             | 0            | 0            | 0            |
| Erneuerbare   | 0             | 0          | 0          | 0          | 4             | 6            | 8            | 11           |
| Andere Mineralölprodukte                                      | 0             | 0          | 0          | 0          | 0             | 0            | 0            | 0            |
| Feste Biomasse  | 31            | 31         | 31         | 31         | 30            | 34           | 37           | 39           |
| Solarenergie  |               |            |            |            | 11            | 14           | 17           | 21           |
| Biokraftstoffe  |               |            |            |            | 0             | 1            | 2            | 4            |
| Fernwärme   |               |            |            |            | 150           | 152          | 153          | 155          |
| Strom   |               |            |            |            | 502           | 479          | 446          | 420          |
| <b>Summe</b>  | <b>869</b>    | <b>766</b> | <b>781</b> | <b>731</b> | <b>1.391</b>  | <b>1.332</b> | <b>1.262</b> | <b>1.197</b> |

Quelle: UBA (2011a+b), Berechnungen von IEK-STE, Fraunhofer ISI und Öko-Institut.

Tab. 7-5: Endenergieverbrauch von Gewerbe Handel, Dienstleistungen (GHD) - Energiewende-Szenario

| Gewerbe, Handel, Dienstleistungen – Energiewende-Szenario |               |            |            |            |               |              |              |            |
|---|---------------|------------|------------|------------|---------------|--------------|--------------|------------|
| Energieträger   | Inventardaten |            |            |            | Prognosedaten |              |              |            |
|   | 2000          | 2005       | 2008       | 2009       | 2015          | 2020         | 2025         | 2030       |
| <b>Endenergieverbrauch in PJ</b>                          |               |            |            |            |               |              |              |            |
| Steinkohle  | 13            | 7          | 14         | 11         | 12            | 10           | 8            | 7          |
| Braunkohlen   | 7             | 2          | 4          | 3          | 3             | 2            | 1            | 1          |
| Heizöl leicht   | 285           | 262        | 248        | 212        | 198           | 148          | 89           | 31         |
| Heizöl schwer   |               |            |            |            | 0             | 0            | 0            | 0          |
| Benzin  | 12            | 11         | 9          | 9          | 9             | 8            | 6            | 5          |
| Diesel  | 58            | 52         | 51         | 50         | 49            | 44           | 39           | 33         |
| Flugtreibstoff  | 10            | 2          | 4          | 4          | 3             | 3            | 3            | 2          |
| Erdgas  | 445           | 370        | 401        | 389        | 367           | 322          | 273          | 234        |
| LPG   | 9             | 28         | 21         | 21         | 20            | 18           | 15           | 13         |
| Stadtgas  | 0             | 0          | 0          | 0          | 0             | 0            | 0            | 0          |
| Erneuerbare   | 0             | 0          | 0          | 0          | 7             | 22           | 32           | 33         |
| Andere Mineralölprodukte                                  | 0             | 0          | 0          | 0          | 0             | 0            | 0            | 0          |
| Feste Biomasse  | 31            | 31         | 31         | 31         | 37            | 47           | 59           | 68         |
| Solarenergie  |               |            |            |            | 13            | 19           | 25           | 31         |
| Biokraftstoffe  |               |            |            |            | 0             | 1            | 2            | 3          |
| Fernwärme   |               |            |            |            | 151           | 153          | 156          | 158        |
| Strom   |               |            |            |            | 496           | 464          | 416          | 374        |
| <b>Summe</b>  | <b>869</b>    | <b>766</b> | <b>781</b> | <b>731</b> | <b>1.365</b>  | <b>1.262</b> | <b>1.126</b> | <b>994</b> |

Quelle: UBA (2011a+b), Berechnungen von IEK-STE, Fraunhofer ISI und Öko-Institut.

Tab. 7-6: Endenergieverbrauch im Verkehr - Aktuelle-Politik-Szenario

| Verkehr – Aktuelle-Politik-Szenario |               |              |              |              |               |              |              |              |
|-------------------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| Energieträger                       | Inventardaten |              |              |              | Prognosedaten |              |              |              |
|                                     | 2000          | 2005         | 2008         | 2009         | 2015          | 2020         | 2025         | 2030         |
| <b>Endenergieverbrauch in PJ</b>    |               |              |              |              |               |              |              |              |
| Benzin                              | 1.237         | 992          | 854          | 828          | 628           | 500          | 420          | 351          |
| Diesel                              | 1.145         | 1.109        | 1.134        | 1.151        | 1.240         | 1.252        | 1.229        | 1.173        |
| Kerosin                             | 32            | 29           | 31           | 29           | 24            | 24           | 23           | 22           |
| Bio-Kerosin                         | 0             | 0            | 0            | 0            | 0             | 0            | 0            | 0            |
| LPG                                 | 0             | 2            | 16           | 19           | 19            | 12           | 9            | 9            |
| Erdgas                              | 0             | 3            | 5            | 6            | 23            | 33           | 34           | 29           |
| (Bio-) Ethanol                      | 0             | 7            | 17           | 24           | 47            | 55           | 47           | 39           |
| FAME                                | 12            | 72           | 111          | 91           | 153           | 188          | 184          | 176          |
| Pflanzenöl                          | 0             | 0            | 0            | 0            | 0             | 0            | 0            | 0            |
| Methanol                            | 0             | 0            | 0            | 0            | 0             | 0            | 0            | 0            |
| Wasserstoff                         | 0             | 0            | 0            | 0            | 0             | 0            | 0            | 0            |
| Andere Mineralölprodukte            | 2             | 2            | 2            | 2            | 2             | 2            | 2            | 2            |
| Braunkohlen                         | 0             | 0            | 0            | 0            | 0             | 0            | 0            | 0            |
| Steinkohlen                         | 0             | 0            | 0            | 0            | 0             | 0            | 0            | 0            |
| Strom                               | 0             | 0            | 0            | 0            | 45            | 51           | 61           | 77           |
| <b>Summe</b>                        | <b>2.429</b>  | <b>2.217</b> | <b>2.169</b> | <b>2.149</b> | <b>2.181</b>  | <b>2.117</b> | <b>2.009</b> | <b>1.877</b> |

Quelle: UBA (2011a+b), Berechnungen von IEK-STE, Fraunhofer ISI und Öko-Institut.

Tab. 7-7: Endenergieverbrauch im Verkehr - Energiewende-Szenario

| Verkehr – Energiewende-Szenario  |               |              |              |              |               |              |              |              |
|----------------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| Energieträger                    | Inventardaten |              |              |              | Prognosedaten |              |              |              |
|                                  | 2000          | 2005         | 2008         | 2009         | 2015          | 2020         | 2025         | 2030         |
| <b>Endenergieverbrauch in PJ</b> |               |              |              |              |               |              |              |              |
| Benzin                           | 1.237         | 992          | 854          | 828          | 621           | 448          | 374          | 322          |
| Diesel                           | 1.145         | 1.109        | 1.134        | 1.151        | 1.228         | 1.198        | 1.102        | 967          |
| Kerosin                          | 32            | 29           | 31           | 29           | 23            | 21           | 18           | 15           |
| Bio-Kerosin                      | 0             | 0            | 0            | 0            | 0             | 1            | 3            | 5            |
| LPG                              | 0             | 2            | 16           | 19           | 19            | 11           | 9            | 10           |
| Erdgas                           | 0             | 3            | 5            | 6            | 23            | 30           | 32           | 29           |
| (Bio-) Ethanol                   | 0             | 7            | 17           | 24           | 46            | 50           | 41           | 35           |
| FAME                             | 12            | 72           | 111          | 91           | 152           | 179          | 165          | 144          |
| Pflanzenöl                       | 0             | 0            | 0            | 0            | 0             | 0            | 0            | 0            |
| Methanol                         | 0             | 0            | 0            | 0            | 0             | 0            | 0            | 0            |
| Wasserstoff                      | 0             | 0            | 0            | 0            | 0             | 0            | 0            | 0            |
| Andere Mineralölprodukte         | 2             | 2            | 2            | 2            | 2             | 2            | 2            | 2            |
| Braunkohlen                      | 0             | 0            | 0            | 0            | 0             | 0            | 0            | 0            |
| Steinkohlen                      | 0             | 0            | 0            | 0            | 0             | 0            | 0            | 0            |
| Strom                            | 0             | 0            | 0            | 0            | 46            | 57           | 62           | 69           |
| <b>Summe</b>                     | <b>2.429</b>  | <b>2.217</b> | <b>2.169</b> | <b>2.149</b> | <b>2.160</b>  | <b>1.997</b> | <b>1.807</b> | <b>1.599</b> |

Quelle: UBA (2011a+b), Berechnungen von IEK-STE, Fraunhofer ISI und Öko-Institut.

Tab. 7-8: Endenergieverbrauch im bauwirtschaftlichen Sonderverkehr - Aktuelle-Politik-Szenario

| Bauwirtschaftlicher Sonderverkehr – Aktuelle-Politik-Szenario |               |           |           |           |               |           |           |           |
|---|---------------|-----------|-----------|-----------|---------------|-----------|-----------|-----------|
| Energieträger   | Inventardaten |           |           |           | Prognosedaten |           |           |           |
|   | 2000          | 2005      | 2008      | 2009      | 2015          | 2020      | 2025      | 2030      |
| <b>Endenergieverbrauch in PJ</b>                              |               |           |           |           |               |           |           |           |
| Benzin  | 3             | 3         | 3         | 3         | 3             | 3         | 3         | 3         |
| Diesel  | 40            | 34        | 35        | 35        | 35            | 34        | 34        | 34        |
| Kerosin   |               |           |           |           | 0             | 0         | 0         | 0         |
| LPG   |               |           |           |           | 0             | 0         | 0         | 0         |
| Erdgas  |               |           |           |           | 0             | 0         | 0         | 0         |
| (Bio-) Ethanol  |               |           |           |           | 0             | 0         | 0         | 0         |
| FAME  |               |           |           |           | 0             | 0         | 0         | 0         |
| Pflanzenöl  |               |           |           |           | 0             | 0         | 0         | 0         |
| Methanol  |               |           |           |           | 0             | 0         | 0         | 0         |
| Wasserstoff   |               |           |           |           | 0             | 0         | 0         | 0         |
| Andere Mineralölprodukte                                      |               |           |           |           | 0             | 0         | 0         | 0         |
| Braunkohlen   |               |           |           |           | 0             | 0         | 0         | 0         |
| Steinkohlen   |               |           |           |           | 0             | 0         | 0         | 0         |
| Strom   |               |           |           |           | 0             | 0         | 0         | 0         |
| <b>Summe</b>  | <b>43</b>     | <b>37</b> | <b>38</b> | <b>38</b> | <b>38</b>     | <b>37</b> | <b>37</b> | <b>37</b> |

Quelle: UBA (2011a+b), Berechnungen von IEK-STE, Fraunhofer ISI und Öko-Institut.

Tab. 7-9: Endenergieverbrauch im bauwirtschaftlichen Sonderverkehr - Energiewende-Szenario

| Bauwirtschaftlicher Sonderverkehr – Energiewende-Szenario |               |           |           |           |               |           |           |           |
|---|---------------|-----------|-----------|-----------|---------------|-----------|-----------|-----------|
| Energieträger   | Inventardaten |           |           |           | Prognosedaten |           |           |           |
|   | 2000          | 2005      | 2008      | 2009      | 2015          | 2020      | 2025      | 2030      |
| <b>Endenergieverbrauch in PJ</b>                          |               |           |           |           |               |           |           |           |
| Benzin  | 3             | 3         | 3         | 3         | 3             | 3         | 3         | 3         |
| Diesel  | 40            | 34        | 35        | 35        | 35            | 34        | 34        | 34        |
| Kerosin   |               |           |           |           | 0             | 0         | 0         | 0         |
| LPG   |               |           |           |           | 0             | 0         | 0         | 0         |
| Erdgas  |               |           |           |           | 0             | 0         | 0         | 0         |
| (Bio-) Ethanol  |               |           |           |           | 0             | 0         | 0         | 0         |
| FAME  |               |           |           |           | 0             | 0         | 0         | 0         |
| Pflanzenöl  |               |           |           |           | 0             | 0         | 0         | 0         |
| Methanol  |               |           |           |           | 0             | 0         | 0         | 0         |
| Wasserstoff   |               |           |           |           | 0             | 0         | 0         | 0         |
| Andere Mineralölprodukte                                  |               |           |           |           | 0             | 0         | 0         | 0         |
| Braunkohlen   |               |           |           |           | 0             | 0         | 0         | 0         |
| Steinkohlen   |               |           |           |           | 0             | 0         | 0         | 0         |
| Strom   |               |           |           |           | 0             | 0         | 0         | 0         |
| <b>Summe</b>  | <b>43</b>     | <b>37</b> | <b>38</b> | <b>38</b> | <b>38</b>     | <b>37</b> | <b>37</b> | <b>37</b> |

Quelle: UBA (2011a+b), Berechnungen von IEK-STE, Fraunhofer ISI und Öko-Institut.

Tab. 7-10: Endenergieverbrauch im Sonderverkehr Pipeline-Transport – Aktuelle-Politik-Szenario

| Sonderverkehr Pipeline-Transport – Aktuelle-Politik-Szenario |               |      |      |      |               |      |      |      |
|--|---------------|------|------|------|---------------|------|------|------|
| Energieträger  | Inventardaten |      |      |      | Prognosedaten |      |      |      |
|  | 2000          | 2005 | 2008 | 2009 | 2015          | 2020 | 2025 | 2030 |
| Endenergieverbrauch in PJ                                    |               |      |      |      |               |      |      |      |
| Benzin   |               |      |      |      | 0             | 0    | 0    | 0    |
| Diesel   |               |      |      |      | 0             | 0    | 0    | 0    |
| Kerosin  |               |      |      |      | 0             | 0    | 0    | 0    |
| LPG  |               |      |      |      | 0             | 0    | 0    | 0    |
| Erdgas   | 15            | 16   | 15   | 15   | 15            | 15   | 15   | 15   |
| (Bio-) Ethanol   |               |      |      |      | 0             | 0    | 0    | 0    |
| FAME   |               |      |      |      | 0             | 0    | 0    | 0    |
| Pflanzenöl   |               |      |      |      | 0             | 0    | 0    | 0    |
| Methanol   |               |      |      |      | 0             | 0    | 0    | 0    |
| Wasserstoff  |               |      |      |      | 0             | 0    | 0    | 0    |
| Andere Mineralölprodukte                                     |               |      |      |      | 0             | 0    | 0    | 0    |
| Braunkohlen  |               |      |      |      | 0             | 0    | 0    | 0    |
| Steinkohlen  |               |      |      |      | 0             | 0    | 0    | 0    |
| Strom  |               |      |      |      | 0             | 0    | 0    | 0    |
| <b>Summe</b>   | 15            | 16   | 15   | 15   | 15            | 15   | 15   | 15   |

Quelle: UBA (2011a+b), Berechnungen von IEK-STE, Fraunhofer ISI und Öko-Institut.

Tab. 7-11: Endenergieverbrauch im Sonderverkehr Pipeline-Transport – Energiewende-Szenario

| Sonderverkehr Pipeline-Transport – Energiewende-Szenario |               |      |      |      |               |      |      |      |
|--|---------------|------|------|------|---------------|------|------|------|
| Energieträger  | Inventardaten |      |      |      | Prognosedaten |      |      |      |
|  | 2000          | 2005 | 2008 | 2009 | 2015          | 2020 | 2025 | 2030 |
| Endenergieverbrauch in PJ                                |               |      |      |      |               |      |      |      |
| Benzin   |               |      |      |      | 0             | 0    | 0    | 0    |
| Diesel   |               |      |      |      | 0             | 0    | 0    | 0    |
| Kerosin  |               |      |      |      | 0             | 0    | 0    | 0    |
| LPG  |               |      |      |      | 0             | 0    | 0    | 0    |
| Erdgas   | 15            | 16   | 15   | 15   | 17            | 16   | 15   | 13   |
| (Bio-) Ethanol   |               |      |      |      | 0             | 0    | 0    | 0    |
| FAME   |               |      |      |      | 0             | 0    | 0    | 0    |
| Pflanzenöl   |               |      |      |      | 0             | 0    | 0    | 0    |
| Methanol   |               |      |      |      | 0             | 0    | 0    | 0    |
| Wasserstoff  |               |      |      |      | 0             | 0    | 0    | 0    |
| Andere Mineralölprodukte                                 |               |      |      |      | 0             | 0    | 0    | 0    |
| Braunkohlen  |               |      |      |      | 0             | 0    | 0    | 0    |
| Steinkohlen  |               |      |      |      | 0             | 0    | 0    | 0    |
| Strom  |               |      |      |      | 0             | 0    | 0    | 0    |
| <b>Summe</b>   | 15            | 16   | 15   | 15   | 17            | 16   | 15   | 13   |

Quelle: UBA (2011a+b), Berechnungen von IEK-STE, Fraunhofer ISI und Öko-Institut.

Tab. 7-12: Endenergieverbrauch der Industrie (ohne Industriekraftwerke) - Aktuelle-Politik-Szenario

| Industrie (ohne Industriekraftwerke) – Aktuelle-Politik-Szenario |               |              |              |              |               |              |              |              |
|--|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| Energieträger  | Inventardaten |              |              |              | Prognosedaten |              |              |              |
|  | 2000          | 2005         | 2008         | 2009         | 2015          | 2020         | 2025         | 2030         |
| <b>Endenergieverbrauch in PJ</b>                                 |               |              |              |              |               |              |              |              |
| Braunkohlen  | 47            | 51           | 55           | 49           | 26            | 15           | 9            | 5            |
| Steinkohlen  | 363           | 275          | 295          | 217          | 231           | 227          | 221          | 212          |
| Öl   | 220           | 161          | 142          | 120          | 143           | 136          | 128          | 119          |
| Raffineriegas  | 4             | 0            | 0            | 0            | 0             | 0            | 0            | 0            |
| Erdgas   | 634           | 657          | 574          | 506          | 701           | 692          | 662          | 654          |
| Gichtgas   | 97            | 98           | 92           | 62           | 71            | 74           | 76           | 76           |
| Kokerei-/Stadtgas  | 42            | 31           | 28           | 20           | 20            | 18           | 17           | 15           |
| Sonstige Gase  | 0             | 0            | 18           | 18           | 18            | 18           | 18           | 18           |
| Müll   | 14            | 22           | 29           | 29           | 46            | 58           | 73           | 91           |
| Biogas   |               |              |              |              | 0             | 0            | 0            | 0            |
| Biomasse   | 7             | 19           | 20           | 19           | 33            | 40           | 47           | 55           |
| <b>Summe</b>   | <b>1.428</b>  | <b>1.314</b> | <b>1.253</b> | <b>1.040</b> | <b>1.288</b>  | <b>1.277</b> | <b>1.249</b> | <b>1.244</b> |
| davon Reduktionsmittel   |               |              |              |              |               |              |              |              |
| Steinkohle im Hochofen   | 241           | 201          | 196          | 136          | 190           | 187          | 182          | 173          |
| Öl im Hochofen   | 36            | 28           | 15           | 8            | 15            | 15           | 14           | 14           |

Quelle: UBA (2011a+b), Berechnungen von IEK-STE, Fraunhofer ISI und Öko-Institut.

Tab. 7-13: Endenergieverbrauch der Industrie (ohne Industriekraftwerke) - Energiewende-Szenario

| Industrie (ohne Industriekraftwerke) – Energiewende-Szenario |               |              |              |              |               |              |              |              |
|--|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| Energieträger  | Inventardaten |              |              |              | Prognosedaten |              |              |              |
|  | 2000          | 2005         | 2008         | 2009         | 2015          | 2020         | 2025         | 2030         |
| <b>Endenergieverbrauch in PJ</b>                             |               |              |              |              |               |              |              |              |
| Braunkohlen  | 47            | 51           | 55           | 49           | 23            | 12           | 6            | 3            |
| Steinkohlen  | 363           | 275          | 295          | 217          | 227           | 219          | 210          | 198          |
| Öl   | 220           | 161          | 142          | 120          | 140           | 131          | 122          | 112          |
| Raffineriegas  | 4             | 0            | 0            | 0            | 0             | 0            | 0            | 0            |
| Erdgas   | 634           | 657          | 574          | 506          | 669           | 632          | 595          | 604          |
| Gichtgas   | 97            | 98           | 92           | 62           | 71            | 72           | 73           | 72           |
| Kokerei-/Stadtgas  | 42            | 31           | 28           | 20           | 19            | 17           | 15           | 13           |
| Sonstige Gase  | 0             | 0            | 18           | 18           | 18            | 18           | 18           | 18           |
| Müll   | 14            | 22           | 29           | 29           | 47            | 58           | 71           | 87           |
| Biogas   |               |              |              |              | 0             | 0            | 0            | 0            |
| Biomasse   | 7             | 19           | 20           | 19           | 38            | 48           | 61           | 77           |
| <b>Summe</b>   | <b>1.428</b>  | <b>1.314</b> | <b>1.253</b> | <b>1.040</b> | <b>1.252</b>  | <b>1.207</b> | <b>1.171</b> | <b>1.184</b> |
| davon Reduktionsmittel                                       |               |              |              |              |               |              |              |              |
| Steinkohle im Hochofen                                       | 241           | 201          | 196          | 136          | 190           | 187          | 182          | 173          |
| Öl im Hochofen   | 36            | 28           | 15           | 8            | 15            | 15           | 14           | 14           |

Quelle: UBA (2011a+b), Berechnungen von IEK-STE, Fraunhofer ISI und Öko-Institut.

### 7.3 Energieeinsätze in den Umwandlungssektoren

In den folgenden Tabellen werden für die Jahre 2000, 2005, 2008 und 2009 die Energieeinsätze dargestellt, wie sie aus dem ZSE gewonnen wurden, anschließend daran werden die prognostizierten Energieeinsätze für die Jahre 2015 bis 2030 aufgeführt. Dieser methodische Wechsel führt dazu, dass es bei einzelnen Energieträgern zu einem Bruch in der Darstellung kommt, wenn z.B. die Werte für diesen Energieträger nicht entsprechend aus dem ZSE gewonnen werden konnten.

Tab. 7-14: Energieeinsatz in öffentlichen Kraftwerken – Aktuelle-Politik-Szenario

| Öffentliche Kraftwerke – Aktuelle-Politik-Szenario |                      |              |              |              |               |              |              |              |
|--|----------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| Energieträger                                      | Inventardaten        |              |              |              | Prognosedaten |              |              |              |
|  | 2000                 | 2005         | 2008         | 2009         | 2015          | 2020         | 2025         | 2030         |
|  | Energieeinsatz in PJ |              |              |              |               |              |              |              |
| Braunkohlen  | 1.424                | 1.468        | 1.428        | 1.389        | 1.441         | 1.044        | 898          | 656          |
| Steinkohlen  | 1.218                | 1.175        | 1.103        | 974          | 961           | 881          | 897          | 548          |
| Öl   | 32                   | 46           | 29           | 38           | 1             | 1            | 7            | 15           |
| Raffineriegas                                      | 0                    | 0            | 0            | 0            | 0             | 0            | 0            | 0            |
| Erdgas   | 394                  | 534          | 616          | 561          | 455           | 461          | 450          | 464          |
| Gichtgas   | 23                   | 27           | 23           | 13           | 31            | 31           | 30           | 29           |
| Kokerei-/Stadtgas                                  | 1                    | 1            | 5            | 4            | 4             | 4            | 4            | 4            |
| Sonstige Gase                                      | 0                    | 4            | 0            | 0            | 0             | 0            | 0            | 0            |
| Müll   | 67                   | 61           | 75           | 89           | 86            | 92           | 96           | 100          |
| Biogas   | 10                   | 50           | 152          | 160          | 210           | 243          | 240          | 240          |
| Biomasse   | 67                   | 130          | 214          | 221          | 303           | 351          | 356          | 360          |
| Abwärme  | 0                    | 6            | 10           | 8            | 0             | 0            | 0            | 0            |
| <b>Summe</b>                                       | <b>3.234</b>         | <b>3.502</b> | <b>3.657</b> | <b>3.456</b> | <b>3.491</b>  | <b>3.109</b> | <b>2.977</b> | <b>2.415</b> |

Quelle: UBA (2011a+b), Berechnungen von IEK-STE, Fraunhofer ISI und Öko-Institut.

Tab. 7-15: Energieeinsatz in öffentlichen Kraftwerken – Energiewende-Szenario

| Öffentliche Kraftwerke – Energiewende-Szenario |                      |              |              |              |               |              |              |              |
|--|----------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| Energieträger                                  | Inventardaten        |              |              |              | Prognosedaten |              |              |              |
|  | 2000                 | 2005         | 2008         | 2009         | 2015          | 2020         | 2025         | 2030         |
|  | Energieeinsatz in PJ |              |              |              |               |              |              |              |
| Braunkohlen                                    | 1.424                | 1.468        | 1.428        | 1.389        | 1.408         | 928          | 700          | 403          |
| Steinkohlen                                    | 1.218                | 1.175        | 1.103        | 974          | 722           | 525          | 468          | 263          |
| Öl   | 32                   | 46           | 29           | 38           | 1             | 0            | 0            | 0            |
| Raffineriegas                                  | 0                    | 0            | 0            | 0            | 0             | 0            | 0            | 0            |
| Erdgas   | 394                  | 534          | 616          | 561          | 458           | 472          | 454          | 446          |
| Gichtgas                                       | 23                   | 27           | 23           | 13           | 31            | 31           | 30           | 29           |
| Kokerei-/Stadtgas                              | 1                    | 1            | 5            | 4            | 4             | 4            | 4            | 4            |
| Sonstige Gase                                  | 0                    | 4            | 0            | 0            | 0             | 0            | 0            | 0            |
| Müll   | 67                   | 61           | 75           | 89           | 86            | 90           | 91           | 91           |
| Biogas   | 10                   | 50           | 152          | 160          | 209           | 242          | 225          | 196          |
| Biomasse                                       | 67                   | 130          | 214          | 221          | 303           | 351          | 342          | 315          |
| Abwärme  | 0                    | 6            | 10           | 8            | 0             | 0            | 0            | 0            |
| <b>Summe</b>                                   | <b>3.234</b>         | <b>3.502</b> | <b>3.657</b> | <b>3.456</b> | <b>3.223</b>  | <b>2.643</b> | <b>2.314</b> | <b>1.746</b> |

Quelle: UBA (2011a+b), Berechnungen von IEK-STE, Fraunhofer ISI und Öko-Institut.

Tab. 7-16: Energieeinsatz in öffentlichen Heizwerken - Aktuelle-Politik-Szenario

| Öffentliche Heizwerke – Aktuelle-Politik-Szenario |               |            |            |            |               |            |            |            |
|---|---------------|------------|------------|------------|---------------|------------|------------|------------|
| Energieträger                                     | Inventardaten |            |            |            | Prognosedaten |            |            |            |
|   | 2000          | 2005       | 2008       | 2009       | 2015          | 2020       | 2025       | 2030       |
| Energieeinsatz in PJ                              |               |            |            |            |               |            |            |            |
| Braunkohlen                                       | 1             | 6          | 4          | 2          | 4             | 3          | 2          | 2          |
| Steinkohlen                                       | 8             | 8          | 20         | 17         | 17            | 16         | 16         | 10         |
| Öl  | 8             | 8          | 8          | 8          | 0             | 0          | 2          | 4          |
| Raffineriegas                                     | 0             | 0          | 0          | 0          | 0             | 0          | 0          | 0          |
| Erdgas  | 50            | 117        | 96         | 106        | 68            | 65         | 66         | 64         |
| Gichtgas  | 0             | 0          | 0          | 0          | 0             | 0          | 0          | 0          |
| Kokerei-/Stadtgas                                 | 1             | 0          | 0          | 0          | 0             | 0          | 0          | 0          |
| Sonstige Gase                                     |               |            |            |            | 0             | 0          | 0          | 0          |
| Müll  | 4             | 8          | 21         | 24         | 24            | 24         | 24         | 24         |
| Biogas  | 0             | 1          | 0          | 0          | 0             | 0          | 0          | 0          |
| Biomasse  | 4             | 17         | 20         | 22         | 29            | 33         | 34         | 34         |
| Abwärme   | 0             | 2          | 0          | 0          | 0             | 0          | 0          | 0          |
| <b>Summe</b>                                      | <b>77</b>     | <b>168</b> | <b>170</b> | <b>180</b> | <b>143</b>    | <b>142</b> | <b>144</b> | <b>138</b> |

Quelle: UBA (2011a+b), Berechnungen von IEK-STE, Fraunhofer ISI und Öko-Institut.

Tab. 7-17: Energieeinsatz in öffentlichen Heizwerken - Energiewende-Szenario

| Öffentliche Heizwerke – Energiewende-Szenario |               |            |            |            |               |            |            |            |
|---|---------------|------------|------------|------------|---------------|------------|------------|------------|
| Energieträger                                 | Inventardaten |            |            |            | Prognosedaten |            |            |            |
|   | 2000          | 2005       | 2008       | 2009       | 2015          | 2020       | 2025       | 2030       |
| Energieeinsatz in PJ                          |               |            |            |            |               |            |            |            |
| Braunkohlen                                   | 1             | 6          | 4          | 2          | 4             | 2          | 2          | 1          |
| Steinkohlen                                   | 8             | 8          | 20         | 17         | 13            | 9          | 8          | 5          |
| Öl  | 8             | 8          | 8          | 8          | 0             | 0          | 0          | 0          |
| Raffineriegas                                 | 0             | 0          | 0          | 0          | 0             | 0          | 0          | 0          |
| Erdgas  | 50            | 117        | 96         | 106        | 79            | 81         | 85         | 81         |
| Gichtgas                                      | 0             | 0          | 0          | 0          | 0             | 0          | 0          | 0          |
| Kokerei-/Stadtgas                             | 1             | 0          | 0          | 0          | 0             | 0          | 0          | 0          |
| Sonstige Gase                                 |               |            |            |            | 0             | 0          | 0          | 0          |
| Müll  | 4             | 8          | 21         | 24         | 24            | 24         | 24         | 24         |
| Biogas  | 0             | 1          | 0          | 0          | 0             | 0          | 0          | 0          |
| Biomasse                                      | 4             | 17         | 20         | 22         | 29            | 33         | 33         | 30         |
| Abwärme                                       | 0             | 2          | 0          | 0          | 0             | 0          | 0          | 0          |
| <b>Summe</b>                                  | <b>77</b>     | <b>168</b> | <b>170</b> | <b>180</b> | <b>149</b>    | <b>151</b> | <b>153</b> | <b>141</b> |

Quelle: UBA (2011a+b), Berechnungen von IEK-STE, Fraunhofer ISI und Öko-Institut.