Climate Change

Climate Change
03/05
ISSN 1611-8855

Klimaschutz in Deutschland bis 2030

Endbericht zum Forschungsvorhaben Politikszenarien III

Umwelt Bundes Amt
Für Mensch und Umwelt

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 201 41 142
UBA-FB 000752

Climate Change
03/05
ISSN
1611-8855

Klimaschutz in Deutschland bis 2030

Endbericht zum Forschungsvorhaben Politikszenarien III

von

Jochen Diekmann, Rainer Hopf, Hans-Joachim Ziesing
(DIW Berlin)

Manfred Kleemann, Volker Krey, Peter Markewitz,
Dag Martinsen, Stefan Vögele
(FZJ-STE)

Wolfgang Eichhammer, Eberhard Jochem, Wilhelm Mannsbart,
Barbara Schlomann, Michael Schön, Martin Wietschel

unter Mitarbeit von
Anselm Brakhage
(Fh-ISI)

Felix Chr. Matthes, Martin Cames, Ralph Harthan
(Öko-Institut)

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter
http://www.umweltbundesamt.de
verfügbar.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr
für die Richtigkeit, die Genauigkeit und
Vollständigkeit der Angaben sowie für
die Beachtung privater Rechte Dritter.
Die in der Studie geäußerten Ansichten
und Meinungen müssen nicht mit denen des
Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 33 00 22
14191 Berlin
Tel.: 030/8903-0
Telex: 183 756
Telefax: 030/8903 2285
Internet: http://www.umweltbundesamt.de

Redaktion: Fachgebiet I 4.2
Dr. Helmut Kaschenz

Berlin, Januar 2005

Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA-FB	2.	3.
4. Titel des Berichts Politikszenarien für den Klimaschutz - Langfristszenarien und Handlungsempfehlungen ab 2012 (Politikszenarien III)		

5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Ziesing, Hans-Joachim; Markewitz; Peter Schlomann, Barbara; Matthes, Felix Christian; u.a.	8. Abschlußdatum Juli 2004
	9. Veröffentlichungsdatum September 2004
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW Berlin) Königin-Luise-Strasse 5, 14195 Berlin Forschungszentrum Jülich, Programmgruppe STE 52425 Jülich sowie Fraunhofer-ISI und Öko-Institut	10. UFOPLAN-Nr. FKZ 201 41 142
	11. Seitenzahl 522
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt, Postfach 33 00 22, D-14191 Berlin	12. Literaturangaben 335
	13. Tabellen und Diagramme 186
	14. Abbildungen 51

15. Zusätzliche Angaben

16. Kurzfassung

Ein Ziel der Studie bestand in der Analyse sowie quantitativen Bewertung der im Nationalen Klimaschutzprogramm vom 18. Oktober 2000 enthaltenen sowie der neueren klimaschutzpolitischen Maßnahmen hinsichtlich ihrer emissionsreduzierenden Wirkungen bis zum Jahr 2010. Die Analysen verdeutlichen den Erfolg der analysierten Maßnahmen, durch die eine Treibhausgasreduzierung von etwa 20 % bis 2010 erwartet werden kann. Von dieser Reduktion entfallen etwa 70 % auf CO2-Emissionen und 30 % auf die übrigen Treibhausgase. Allerdings sind zur Erreichung des im Rahmen des "burden sharing" zugesicherten Ziels eine Minderung um 21 % zusätzliche Anstrengungen notwendig. Zur maßnahmenbedingten Gesamtminderung trägt for allem der Umwandlungssektor selbst bei, aber auch der verkehr, die Haushalte und der GHD-Sektor. Durch die Förderung der erneuerbaren Energien können die CO2-Emissionen bis 2010 um rund 38 Mio. t reduziert werden.

Am Beispiel verschiedener Szenarien wurden CO2-Reduktionsstrategien entwickelt, die über das Jahr 2010 hinaus gehen und bis zumJahr 2030 reichen. Die Szenarien, in denen unterschiedliche CO2-Minderungsziele bis 2030 unterstellt worden sind, zeigen, dass eine weitergehende Reduzierung technisch möglich ist. Die zur Realisierung zu implementierenden Maßnahmen ziehen sich durch alle Sektoren der Energiewirtschaft und der Endenergie-verbraucher. Die Höhe der hierbei entstehenden Kosten werden maßgeblich von den angenommenen energie-wirtschaftlichen Rahmenbedingungen beeinflusst.

17. Schlagwörter

Klimaschutzpolitik, Energiepolitik, Emissionsminderungsmaßnahmen, Implikationsanalysen, Energieszenarien, Energiemodelle, Erneuerbare Energien, Verkehrsszenarien

18. Preis	19.	20.

Report Cover Sheet

1. Report No. UBA-FB	2.	3.
4. Report Title "Policy scenarios for climate protection - long term scenarios and policy recommendations as of 2012 (Policy scenarios III)		

5. Autor(s), Family Name(s), First Name(s) Ziesing, Hans-Joachim; Markewitz; Peter Schlomann, Barbara; Matthes, Felix Christian; u.a.	8. Report Date July 2004
	9. Publication Date September 2004
6. Performing Organisation (Name, Address) Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW Berlin) Königin-Luise-Strasse 5, 14195 Berlin Forschungszentrum Jülich, Programmgruppe STE 52425 Jülich + Fraunhofer-ISI and Öko-Institut	10. UFOPLAN-Ref. No. FKZ 201 41 142
	11. No. of Pages 522
7. Sponsoring Agency (Name, Address) Umweltbundesamt, Postfach 33 00 22, D-14191 Berlin	12. No. of Reference 335
	13. No. of Tables, Diagrams 186
	14. No. of Figures 51

15. Supplementary Notes

16. Abstract

One goal of the study was the evaluation of single greenhouse gas reduction measures which are part of the national climate protection program initiated in the year 2000 by the German Government. Within the project the potentials of greenhouse gas emissions reduction of single measures have been quantified up to the year 2010. Taken all the impacts of the measures into account, it seems to be possible to reduce the overall greenhouse gas emissions by nearly 20 % by the year 2010. 70 % of the reduction is caused by CO2 emissions reduction and 30 % by a reduction of other non-CO2 emissions. It should be emphasised that 38 million tonnes of CO2 can be reduced by forcing the use of renewable energies. However, to achieve the German's "burden sharing" goal of a 21 % emissions reduction by the year 2010 additional measures will be necessary.
To analyse emissions reduction strategies for a long-term view (up to 2030) additional scenarios have been developed. The analysis shows that there are still technical options to reduce CO2 emissions by 30 to 40 % by the year 2030. In the case of such ambitious reduction targets measures in alle sectors of the energy system have to be implemented. The costs of the different mitigation strategies are strongly correlated with the framework of energy and climate protection policies.

17. Keywords

climate protection policy; energy policy; mitigation measures; implication analyses; energy scenarios; energy models; renewable energies; transport scenarios

18. Price	19.	20.

DIW Berlin
Deutsches Institut
für Wirtschaftsforschung

Forschungszentrum Jülich
in der Helmholtz-Gemeinschaft
Programmgruppe Systemforschung und
Technologische Entwicklung (STE)

Fraunhofer Institut
Systemtechnik und
Innovationsforschung

Öko-Institut e.V.
Institut für angewandte Ökologie
Institute for Applied Ecology

Endbericht zum Forschungsvorhaben

Politikszenarien für den Klimaschutz – Langfristszenarien und Handlungsempfehlungen ab 2012 (Politikszenarien III)

Umweltforschungsplan 2001
- Forschungskennzahl 201 41 142 -

Berlin, Jülich, Karlsruhe, im Juli 2004

DIW Berlin
Deutsches Institut
für Wirtschaftsforschung

Forschungszentrum Jülich
in der Helmholtz-Gemeinschaft
Programmgruppe Systemforschung und
Technologische Entwicklung (STE)

Fraunhofer Institut
Systemtechnik und
Innovationsforschung

Öko-Institut e.V.
Institut für angewandte Ökologie
Institute for Applied Ecology

Endbericht zum Forschungsvorhaben

Politikszenarien für den Klimaschutz – Langfristszenarien und Handlungsempfehlungen ab 2012 (Politikszenarien III)

Umweltforschungsplan 2001
- Forschungskennzahl 201 41 142 -

Bearbeitet von

Jochen Diekmann, Rainer Hopf, Hans-Joachim Ziesing (DIW Berlin)

Manfred Kleemann, Volker Krey, Peter Markewitz, Dag Martinsen,
Stefan Vögele (FZJ-STE)

Wolfgang Eichhammer, Eberhard Jochem, Wilhelm Mannsbart,
Barbara Schlomann, Michael Schön, Martin Wietschel
unter Mitarbeit von Anselm Brakhage (Fh-ISI)

Felix Chr. Matthes, Martin Cames, Ralph Harthan (Öko-Institut)

Berlin, Jülich, Karlsruhe, im Juli 2004

INHALTSVERZEICHNIS

1 Ziele, Aufgabenstellung und Methodik der Untersuchung (DIW Berlin) **1**

1.1 Vorbemerkungen **1**

1.2 Der methodische Ansatz **2**

1.3 Aufbau des Endberichts **5**

2 Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland seit 1990 und im Referenzszenario der Enquete-Kommission **7**

2.1 Entwicklung seit 1990 (DIW Berlin) **7**

2.2 Referenzszenario der Enquete-Kommission (DIW Berlin) **13**

2.2.1 Vorbemerkungen 13
2.2.2 Annahmen des Referenzszenarios 13
2.2.3 Ergebnisse des Referenzszenarios 17
2.2.4 Bewertung des Referenzszenarios 22

2.3 Vergleich aktueller Projektionen und Szenarien der CO_2-Emissionen in Deutschland (Öko-Institut) **24**

2.3.1 Einleitung 24
2.3.2 Referenz-Projektionen 26
2.3.3 Klimaschutz-Szenarien 30
2.3.4 Zusammenfassung 35

2.4 Exkurs: Zum Verständnis von Szenarien (Fraunhofer ISI) **36**

3 Evaluation von Maßnahmen zur Minderung der sektoralen Treibhausgasemissionen – Ableitung eines „Mit-Maßnahmen-Szenarios für 2010“ **39**

3.1 Klassifikation politischer Maßnahmen (DIW Berlin) **39**

3.2 Industrie (mit industrieller KWK) (Fraunhofer ISI) **43**

3.2.1 Überblick über die Maßnahmen 43
3.2.2 Zur Quantifizierung der CO_2-Minderungspotenziale 45
3.2.2.1 Energieeinsparverordnung (EnEV) 45
3.2.2.2 Gesetz über die ökologische Steuerreform 46
3.2.2.3 Nutzung des Angebots von grünem Strom 49
3.2.2.4 Verbesserung der Kreditprogramme von KFW/DtA 52
3.2.2.5 Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge 55

3.2.2.6 Selbstverpflichtung der Wirtschaft und weitere Maßnahmen zur Förderung der industriellen KWK 65
3.2.2.7 EMAS-Verordnung 73
3.3 Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) (Fraunhofer ISI) **79**
3.3.1 Überblick über die Maßnahmen 79
3.3.2 Zur Quantifizierung der CO_2-Minderungspotenziale 81
3.3.2.1 Energieeinsparverordnung (EnEV) 81
3.3.2.2 Gesetz über die ökologische Steuerreform 82
3.3.2.3 Nutzung des Angebots von grünem Strom 83
3.3.2.4 Verbesserung der Kreditprogramme von KfW/DtA 83
3.3.2.5 Erklärung der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge II 84
3.3.2.6 Selbstverpflichtung der Wirtschaft und weitere Maßnahmen zur Förderung der KWK im GHD-Sektor 84
3.3.2.7 Selbstverpflichtung der Bundesregierung 85
3.3.2.8 EMAS-Verordnung 85
3.4 Haushalte 88
3.4.1 Raumwärme und Warmwasser (STE/FZ Jülich) 88
3.4.1.1 Die bisherige Entwicklung im Gebäudebereich 88
3.4.1.2 Zielsetzung und methodisches Vorgehen 90
3.4.1.3 Raumwärmerelevante Szenarioannahmen und Maßnahmen 93
3.4.1.4 Evaluierung der KfW-CO_2-Programme 99
3.4.1.5 Altersstrukturen und Erneuerung der Heizungsanlagen 105
3.4.1.6 Exkurs: Schlüsselrolle der Altbaumodernisierung für den Klimaschutz 108
3.4.1.7 Energieverbrauch und CO_2-Emission bis 2010 110
3.4.2 Stromverbrauch in Haushalten (Öko-Institut) 115
3.4.2.1 Bisherige Entwicklung 115
3.4.2.2 Auswirkung bereits ergriffener Maßnahmen 116
3.5 Verkehr (DIW Berlin) **120**
3.5.1 Ausgangssituation und Ziel 120
3.5.2 Methodische Anmerkungen und Arbeitsschwerpunkte 122
3.5.3 Überlegungen zum verkehrsbezogenen Referenzszenario 124
3.5.4 Bereits ergriffene und geplante Maßnahmen 131
3.5.4.1 Allgemeine Vorbemerkungen 131
3.5.4.2 Analyse der Maßnahmen 132
3.5.4.2.1 Querschnittsmaßnahmen 133
3.5.4.2.2 Maßnahmen im Verkehrsbereich 137
3.5.4.2.3 Zusammenfassende Betrachtung der Maßnahmenwirkungen 153

3.6 Veränderte Energiedienstleistungen durch Materialrecycling, Re-Use, verbesserte Materialeffizienz, Materialsubstitution und Intensivierung der Produktnutzung (Fraunhofer ISI) **157**

3.7 Nicht-energetischer Verbrauch und Speicher-, Transport- und Verteilungsverluste 168

3.7.1 Maßnahmen im Bereich des nicht-energetischen Verbrauchs (Fraunhofer ISI) 168
3.7.2 Fackel-, Transport- und Verteilungsverluste (DIW Berlin) 173

3.8 Energiesektor (DIW-Berlin) **175**

3.8.1 Ausgangslage 175
3.8.2 Die bisherigen klimaschutzpolitischen Maßnahmen für den Energiesektor 179
3.8.3 Das Mit-Maßnahmen Szenario für den Energiesektor im Jahre 2010 182
3.8.4 Siedlungs-KWK (Öko-Institut) 185

3.9 Erneuerbare Energien (DIW Berlin) **197**

3.9.1 Einleitung 197
3.9.2 Politische Ziele zur stärkeren Nutzung erneuerbarer Energien 197
3.9.3 Bisherige Nutzung erneuerbarer Energien 200
3.9.4 CO_2-Einsparung durch erneuerbare Energien 206
3.9.5 Bisherige Maßnahmen und deren Wirkungen 207
3.9.5.1 Rückblick auf frühere Maßnahmen (vor 1998) 207
3.9.5.2 Aktuelle Maßnahmen (seit 1998) 209
3.9.5.2.1 Überblick 209
3.9.5.2.2 100 000-Dächer-Solarstrom-Programm (HTDP) 210
3.9.5.2.3 Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) 213
3.9.5.2.4 Marktanreizprogramm (MAP) 221
3.9.5.2.5 Sonstige Maßnahmen 226
3.9.5.2.6 Förderung durch die Bundesländer 228
3.9.5.2.7 Finanzieller Aufwand der Förderung 228
3.9.6 Künftige Entwicklung mit und ohne Maßnahmen 232
3.9.6.1 Vorbemerkung 232
3.9.6.2 Erneuerbare Energien im Referenzszenario der Enquetekommission 233
3.9.6.3 Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien mit und ohne Maßnahmen 236
3.9.6.4 Wärme- und Treibstoffbereitstellung aus erneuerbaren Energien mit und ohne Maßnahmen 240
3.9.6.5 Primärenergieverbrauch und CO_2-Emissionsminderung durch erneuerbare Energien mit und ohne Maßnahmen 244
3.9.6.6 Ausblick auf das Jahr 2020 245

3.10 Nicht-energiebedingte Treibhausgasemissionen 252

3.10.1 Nicht-CO_2-Treibhausgasemissionen (Fraunhofer-ISI) 252

3.10.1.1 Überblick über die Maßnahmen 252

3.10.1.2 Zur Quantifizierung der Treibhausgasminderungspotenziale 253

3.10.1.2.1 Methan (CH_4) 253

3.10.1.2.2 Distickstoffoxid (N_2O) 263

3.10.1.2.3 „F-Gase“ (H-FKW, CF_4, C_2F6, SF_6) 264

3.10.2 Nicht-energiebedingte CO_2-Emissionen (Öko-Institut): 271

3.11 Zusammenfassung der Wirkungen der klimaschutzpolitischen Maßnahmen: Das „Mit-Maßnahmen-Szenario“ sowie das „Ohne-Maßnahmen-Szenario“ für das Jahr 2010 (DIW Berlin) **.....276**

3.12 Exkurs: Schätzung des modifizierten Referenzszenarios der Enquete-Kommission für die Jahre 2010 und 2020 (DIW Berlin) **.....279**

3.12.1 Vorbemerkungen 279

3.12.2 Ergebnisse: Tabellen zum Energieverbrauch und zu den CO_2-Emissionen im (modifizierten) Referenzszenario nach Sektoren für die Jahre 2010 und 2020 280

4 Modellgestützte Szenarien für den Klimaschutz (FZJ-STE) **..... 285**

4.1 Charakterisierung des Optimierungsmodells 285

4.2 Rahmendaten für die Modellszenarien 285

4.2.1 Demographische und gesamtwirtschaftliche Entwicklung 286

4.2.2 Annahmen zur Entwicklung im Verkehr 289

4.2.3 Energieträgerpreise 289

4.2.4 Begrenzungen 290

4.2.5 Modellgestützte Szenarien 292

4.2.5.1 Modell-Basis-Szenario 292

4.2.5.2 Charakterisierung der beiden Reduktionsszenarien 293

4.3 Referenzszenario und Modell-Basis-Szenario 295

4.3.1 Vorbemerkungen 295

4.3.2 Zur Interpretation der quantitativen Ergebnisse 296

4.3.3 Referenz- und Modell-Basis-Szenario im Vergleich der Ergebnisse 298

4.4 Die Reduktionsszenarien 306

4.5 Kostenaspekte der Emissionsminderung 316

4.5.1 Vorbemerkungen 316

4.5.2 Kosten der CO_2-Minderungen 317

4.6 Sensitivitätsanalysen 320

4.7 Anhang: Vergleich der Modelldaten mit den Angaben der Energie- und Emissionsstatistik 331

5 Sektorale Emissionsentwicklungen und politische Maßnahmen zur Umsetzung der CO_2-Reduktionsszenarien 336

5.1 Vorbemerkungen (DIW Berlin) **336**

5.2 Industrie (Fraunhofer ISI) **337**

5.2.1 Referenz-Szenario und Modell-Basis-Szenario für den Sektor Industrie 337
5.2.2 Diskussion der Reduktions-Szenarien sowie politische Maßnahmen zu ihrer Realisierung 340
5.2.2.1 Direkte energiebedingte CO_2-Emissionen 340
5.2.2.2 Strom 346
5.2.2.3 Industrielle Kraft-Wärmekopplung 350
5.2.3 Fazit 352
5.2.4 Ausblick auf den Zeitraum bis 2050 354

5.3 Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (Fraunhofer ISI) **358**

5.3.1 Referenz-Szenario und Modell-Basis-Szenario für den Sektor GHD 358
5.3.2 Diskussion der Reduktionsszenarien sowie politische Maßnahmen zu ihrer Realisierung 360
5.3.3 Fazit und Ausblick 2050 364

5.4 Haushalte **367**

5.4.1 Raumwärme und Warmwasser (STE/FZ Jülich) 367
5.4.1.1 Maßnahmen im „Reduktionsszenario I“ 367
5.4.1.2 Das „Reduktions-Szenario II“ 370
5.4.1.3 Anmerkungen zur Vergleichbarkeit der sektoralen Analysen mit den Optimierungsrechnungen 370
5.4.1.4 Energieverbräuche und direkte CO_2-Emission bis 2030 371
5.4.2 Stromverbrauch in Haushalten (Öko-Institut) 375
5.4.2.1 Entwicklung des Haushaltsstromverbrauches in den IKARUS-Szenarien 375
5.4.2.2 Vorgehen bei der Entwicklung detaillierter Szenarien für den Stromverbrauch in Haushalten 376
5.4.2.2.1 Instrumente zur Senkung des Stromverbrauchs in Haushalten 376
5.4.2.2.2 Grundannahmen für die Szenarien 379
5.4.2.2.3 Entwicklung im Referenzszenario 381
5.4.2.2.4 Entwicklung im Mit-Maßnahmen-Szenario I 384
5.4.2.2.5 Entwicklung im Mit-Maßnahmen-Szenario II 388
5.4.2.2.6 Vergleich der Szenarien 391
5.4.2.3 Fazit 395

5.5 Verkehr (DIW Berlin) **399**

5.5.1 Die Ergebnisse der Modellrechnungen 399
5.5.2 Die verkehrsbezogenen Ergebnisse der Szenarien der Enquete-Kommission 401
5.5.3 Ein Nachhaltigkeitsszenario für den Verkehrssektor 405
5.5.3.1 Vorbemerkungen 405
5.5.3.2 Maßnahmen für ein verkehrsbezogenes Nachhaltigkeitsszenario 406
5.5.3.3 Die Entwicklung nach 2020 415

5.6 Zusätzlich veränderte Dienstleistungen (Fraunhofer ISI) **420**

5.6.1 Referenzentwicklung sowie das Materialeffizienz- und Nachhaltigkeits-Szenario 420
5.6.2 Diskussion des Materialeffizienz- und Nachhaltigkeits-Szenarios und politische Maßnahmen zu dessen Realisierung 422
5.6.3 Die Entwicklung nach 2030 425

5.7 Nicht-energetischer Verbrauch (Fraunhofer ISI) **426**

5.8 Energiesektor (DIW Berlin) **428**

5.8.1 Die Emissionen im gesamten Umwandlungssektor 428
5.8.2 Die Entwicklungen im Bereich der Elektrizitätswirtschaft 429
5.8.3 Maßnahmen im Bereich der Elektrizitätswirtschaft 435

5.9 Erneuerbare Energien (DIW Berlin) **441**

5.9.1 Langfristszenarien zur Entwicklung erneuerbarer Energien 441
5.9.2 Politischer Handlungsbedarf und Instrumentenwahl 448

5.10 Nicht-energiebedingte Treibhausgasemissionen **464**

5.10.1 Nicht-CO_2–Treibhausgasemissionen (Fraunhofer ISI) 464
5.10.2 Nicht-energiebedingte CO_2–Emissionen (Öko-Institut) 469

6 Internationaler Emissionsrechte- und Emissionsgutschriftenhandel als klimaschutzpolitische Maßnahme (Fraunhofer ISI) **472**

6.1 Vorbemerkungen 472

6.2 Einleitung: Emissionsrechtehandel unter Baseline-and-Credit und Cap-and-Trade Systemen 472

6.3 Die flexiblen Instrumente des Kyoto-Protokolls 473

6.4 Der Emissionsrechtehandel auf EU-Ebene 474

6.5 Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft(LULUCF) 479

6.6 Quantifizierung der Minderungspotenziale von flexiblen Instrumente 481

6.7 Quantifizierung der Minderungspotenziale durch einen EU-Emissionsrechtehandel 483

6.8 Zusammenfassung 483

7 Zusammenfassende Betrachtung der Reduktionsszenarien im Vergleich zum Modell-Basis- und zum Referenz-Szenario (DIW Berlin) **486**

7.1 Die Szenarien im Überblick 486

7.2 Wertung der Szenarien 487

8 Zusammenfassung und politische Schlussfolgerungen (DIW Berlin) **490**

8.1 Überblick über die Szenarien 490

8.2 Politische Schlussfolgerungen 500

TABELLENVERZEICHNIS

2.1-1 Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der EU-15 von 1990 bis 2001 nach Ländern 7

2.1-2 Treibhausgasemissionen in Deutschland von 1990 bis 2002 nach Treibhausgasen 9

2.1-3 Treibhausgasemissionen in Deutschland von 1990 bis 2002 nach Sektoren 10

2.1-4 CO_2-Emissionen in Deutschland von 1990 bis 2002 nach Sektoren 11

2.2-1 Sozioökonomische Rahmendaten für die Szenarien der Enquete-Kommission 14

2.2-2 Annahmen zur Entwicklung der Verkehrsnachfrage im Referenzszenario der Enquete-Kommission 15

2.2-3 Energie- und umweltpolitische Vorgaben für das Referenzszenario der Enquete-Kommission 16

2.2-4 Endenergieverbrauch im Referenzszenario der Enquete-Kommission 17

2.2-5 Primärenergieverbrauch im Referenzszenario der Enquete-Kommission 20

2.2-6 Entwicklung der CO_2- und Treibhausgasemissionen im Referenzszenario der Enquete-Kommission 21

3.1-1 Typen politischer Instrumente (nach UNFCCC) 40

3.2-1 Jährliche Kreditzusagen im KfW-Umweltprogramm 1990-2002 (Industrie und GHD) 53

3.2-2 Zusagen der DtA im Förderbereich Umwelt mit dem Förderzweck rationelle Energienutzung in Industrie und GHD) 54

3.2-3 Selbstverpflichtungserklärung der Wirtschaft für die erfassten Branchen 58

3.2-4 Monitoring-Daten zur Selbstverpflichtungserklärung der Wirtschaft für die einzelnen Branchen 59

3.2-5 Spezifische Emissionen zur Selbstverpflichtungserklärung der Wirtschaft 61

3.2-6 Projektion absoluter Emissionsziele auf Grundlage der Aktivitätsniveaus von 1999 64

3.2-7 Übersicht über die direkte Förderhöhe und die indirekte Förderung (aufgrund von Strompreiserhöhungen, von denen KWK-Anlagen ausgenommen sind) verschiedener gesetzlicher Maßnahmen 72

3.4-1 Rahmendaten des Enquete-Referenzszenarios und deren Umrechnung zum Mit-Maßnahmen-Szenario 94

3.4-2 Vergleich der beiden KfW-Programme (vereinfacht) 99

3.4-3 Jährliche Kreditzusagen in Mio. EUR zu laufenden Preisen (nur für die Altbausanierung) 100

3.4-4 Jährlich geförderte Wohnfläche 100

3.4-5 Verteilung der Kredite des Programms96 zu laufenden Preisen für 2001 101

3.4-6 Verteilung der Kredite im Programm01 auf die Maßnahmenpakete (2001) 102

3.4-7 Entwicklung von Energieverbrauch im Haushaltsektor und von Brennstoffverbrauch für Raumwärme und Warmwasser bis 2010 (temperaturbereinigt) 111
3.4-8 Direkte CO_2-Emission der Haushalte von 1990 bis 2010 112
3.4-9 Aufteilung der CO_2-Minderung im Jahre 2010 auf die Maßnahmen des „Mit-Maßnahmen-Szenarios“ 112
3.4-10: Haushaltsstromverbrauch nach Anwendungsarten 2001 115
3.4-11: Geplante und ergriffene Maßnahmen der Bundesregierung zur Reduktion des Stromverbrauches in Haushalten und erwartete CO_2-Emissionsminderung 117
3.4-12: Jährliche CO_2-Einsparung durch Effizienzverbesserung bei Haushaltsneugeräten (1995 – 2000) 118
3.5-1 Sozioökonomische Rahmendaten und wichtige Eckgrößen für den Verkehr 125
3.5-2 Annahmen zur Entwicklung der Verkehrsnachfrage im Referenzszenario der Enquête-Kommission 126
3.5-3 Entwicklung der CO_2- und Treibhausgasemissionen im Referenzszenario in Deutschland bis 2050 127
3.5-4 Demografische und ökonomische Leitdaten 128
3.5-5 Verkehrsleistungen im Personenverkehr von 1997 bis 2020 im Trendszenario 129
3.5-6 Entwicklung des Güterverkehrs nach Verkehrsträgern von 1997 bis 2020 im Trendszenario 129
3.5-7 CO_2-Emissionen 1997 und 2020 im Trendszenario 130
3.6-1 Einfluss von Materialeffizienz und intensiverer Produktnutzung auf den Energiebedarf bis 2030, Referenz- und Reduktions-Szenario 161
3.6-2 Entwicklung von Verpackungsmaterialien von 1991 bis 2000 als Beispiel integraler Entwicklung reduzierter Nachfrage nach energiebedarfsbestimmenden Größen (ohne Minderung der Materialdienstleistungen) 165
3.7-1 Referenz-Entwicklung des nicht-energetischen Verbrauchs und seiner produktionsbedingten CO_2-Emissionen, 1995-2030 169
3.7-2 Fackel- und Leitungsverluste in Deutschland von 1990 bis 1999 173
3.8-1 Energieeinsatz und -ausstoß in den Umwandlungssektoren in Deutschland im Jahre 1999 (ohne Verbrauch und Verluste im Umwandlungssektor) 175
3.8-2 Entwicklung der Kohlendioxidemissionen im Energiesektor in Deutschland von 1990 bis 2002 nach Sektoren 176
3.8-3 Entwicklung der Stromerzeugung, des Stromverbrauchs sowie des Brennstoffeinsatzes zur Stromerzeugung in Deutschland von 1990 bis 2002 177
3.8-4 Stromerzeugung: Spezifischer Brennstoffeinsatz und Gesamtnutzungsgrad von 1990 bis 2002 178
3.8-5 Modifikation des Referenzszenarios der Enquete-Kommission für den Energiesektor im Jahre 2010 182

3.8-6 Zuschlagsregelungen nach dem KWK-Gesetz 188
3.8-7 Leistung, Stromerzeugung und CO_2-Emissionen der neuen KWK-Anlagen 192
3.8-8 Vermiedene CO_2-Emissionen durch die neuen KWK-Anlagen 192
3.8-9 Leistung, Stromerzeugung und CO_2-Emissionen der alten KWK-Anlagen 193
3.8-10 Vermiedene CO_2-Emissionen durch die alten KWK-Anlagen 194
3.9-1 Installierte Leistung zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien 203
3.9-2 Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien 203
3.9-3 Erneuerbare Energien für Wärme und Kraftstoff 205
3.9-4 CO_2-Einsparung durch erneuerbare Energien in Deutschland 206
3.9-5 Kennzahlen zur Entwicklung des 100 000-Dächer-Solarstrom-Programms 212
3.9-6 Vergütungen nach dem EEG in Abhängigkeit vom Inbetriebnahmejahr 214
3.9-7 Vergütungen für Stromeinspeisungen 1998 bis 2002 217
3.9-8 Förderung erneuerbarer Energien im Marktanreizprogramm Übersicht zu den Förderrichtlinien vom März 2002 222
3.9-9 Investitionszuschüsse im Marktanreizprogramm 224
3.9-10 Kreditzusagen für erneuerbare Energien im Marktanreizprogramm 224
3.9-11 Beantragte Kollektorfläche im Marktanreizprogramm 225
3.9-12 Konditionen für KfW- und DtA-Darlehen (Stand: September 2002) 227
3.9-13 Förderung der Nutzung erneuerbarer Energien durch die Bundesländer 1991 bis 2001 228
3.9-14 Entwicklung der Finanzhilfen und Steuervergünstigungen für rationelle Energieverwendung und erneuerbare Energien 1970 bis 2002 gemäß dem 18. Subventionsbericht und deren Anteil an den gesamten Subventionen 229
3.9-15 Finanzhilfen und Steuervergünstigungen für rationelle Energieverwendung und erneuerbare Energien 1999 bis 2002 gemäß dem 18. Subventionsbericht 230
3.9-16 Mittel des BMWi für Energieforschung und Rationelle Energieverwendung (Haushalt 2003 und Finanzplan 2004 bis 2006) 231
3.9-17 Mittel des Programms „Energieforschung und Energietechnologien (einschl. ZIP-Mittel) für erneuerbare Energien 231
3.9-18 Erneuerbare Energien im Referenzszenario der Enquetekommission 235
3.9-19 Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bis 2010 (ohne Abfall), Modifiziertes Referenzszenarios und Vergleich mit anderen Szenarien 237
3.9-20 Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Jahr 2010 mit und ohne Maßnahmen seit 1998 239
3.9-21 Wärme- und Treibstoffbereitstellung aus erneuerbaren Energien bis 2010, Modifikation des Referenzszenarios und Vergleich mit anderen Szenarien 241
3.9-22 Wärme- und Treibstoffbereitstellung aus erneuerbaren Energien 2005 und 2010, mit und ohne Maßnahmen seit 1998 243

3.9-23 CO_2-Einsparung durch erneuerbare Energien im Mit- und Ohne-Maßnahmen-Szenario 245
3.10-1 Entwicklung der nicht-energiebedingten CO_2-Emissionen nach Quellbereichen, 1990 bis 2001 271
3.11-1 Zusammenfassung: CO_2-Emissionen im Mit-Maßnahmen-Szenario sowie im Ohne-Maßnahmen-Szenario im Jahre 2010 276
3.11-2 Zusammenfassung: Treibhausgasemissionen im Mit-Maßnahmen-Szenario sowie im Ohne-Maßnahmen-Szenario im Jahre 2010 278
3.12-1 Energieverbrauch und CO_2-Emissionen im modifizierten Referenzszenario der Enquete-Kommissionbis 2020: Haushalte 280
3.12-2 Energieverbrauch und CO_2-Emissionen im modifizierten Referenzszenario der Enquete-Kommission bis 2020: Gewerbe, Handel, Dienstleistungen 281
3.12-3 Energieverbrauch und CO_2-Emissionen im modifizierten Referenzszenario der Enquete-Kommission bis 2020: Summe Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen 281
3.12-4 Energieverbrauch und CO_2-Emissionen im modifizierten Referenzszenario der Enquete-Kommission bis 2020: Industrie 282
3.12-5 Energieverbrauch und CO_2-Emissionen im modifizierten Referenzszenario der Enquete-Kommission bis 2020: Verkehr 282
3.12-6 Energieverbrauch und CO_2-Emissionen im modifizierten Referenzszenario der Enquete-Kommission bis 2020: Summe Endenergiesektoren 283
3.12-7 Energieverbrauch und CO_2-Emissionen im modifizierten Referenzszenario der Enquete-Kommission bis 2020: Stromerzeugung 283
3.12-8 Primärenergieverbrauch im modifizierten Referenzszenario der Enquete-Kommission bis 2020 284
3.12-9 CO_2-Emissionen im modifizierten Referenzszenario der Enquete-Kommission bis 2020 284
4.2-1 Demographische und gesamtwirtschaftliche Rahmendaten 286
4.2-2 Annahmen zur Entwicklung der Bruttowertschöpfung im Verarbeitenden Gewerbe 288
4.2-3 Mengenmäßige Entwicklung ausgewählter Industrieprodukte 288
4.2-4 Entwicklung der Erwerbstätigenzahl im GHD-Sektor in Deutschland 289
4.2-5 Entwicklungen der Verkehrsleistungen im Personen- und Güterverkehr 289
4.2-6 Annahmen zur Entwicklung der Rohölpreise 290
4.2-7 Annahmen zu den Preisen der wichtigsten Importenergieträger 290
4.2-8 Wichtige energiepolitische und technische Begrenzungen in den Szenarien 291
4.2-9 Vorgaben für die energiebedingten CO_2-Emissionen in den Reduktions-Szenarien I und II 295
4.3-1 Primärenergieverbrauch bis zum Jahre 2030 im Modell-Basis-Szenario und im Referenzszenario 299

4.3-2 Endenergieverbrauch nach Sektoren im Modell-Basis-Szenario und im Referenzszenario 299
4.3-3 Endenergieverbrauch nach Energieträgern im Modell-Basis-Szenario und im Referenzszenario 301
4.3-4 Stromverbrauch nach Sektoren bis zum Jahre 2030 im Modell-Basis-Szenario und im Referenzszenario 301
4.3-5 Stromerzeugung nach Energieträgern im Modell-Basis-Szenario und im Referenzszenario 302
4.3-6 Netto-Engpassleistung nach Energieträgern im Modell-Basis-Szenario und im Referenzszenario 303
4.3-7 Energiebedingte CO_2-Emissionen nach Sektoren im Modell-Basis-Szenario und im Referenzszenario 305
4.4-1 Sektorale CO_2-Minderungsbeiträge in den Reduktionsszenarien im Vergleich zum Modell-Basis-Szenario und dem Referenzszenario 308
4.4-2 Überblick über die wichtigsten Maßnahmenfelder in den Reduktionsszenarien - Änderungen im Jahr 2030 gegenüber dem Modell-Basis-Szenario 309
4.4-3 Primärenergieverbrauch nach Energieträgern in den Reduktionsszenarien 312
4.4-4 Endenergieverbrauch nach Energieträgern in den Reduktionsszenarien 312
4.4-5 Endenergieverbrauch nach Sektoren in den Reduktionsszenarien 313
4.4-6 Netto-Stromerzeugung nach Energieträgern in den Reduktionsszenarien 314
4.4-7: Installierte Leistung (netto) des Kraftwerkparks nach Energieträgern in den Reduktionsszenarien 315
4.5-1 Durchschnittliche Kosten und Grenzkosten der CO_2-Minderung 317
4.5-2 Sektorale Mehrkosten pro Jahr in den Reduktionsszenarien gegenüber dem Modell-Basis-Szenario 319
4.6-1 Sensitivitätsanalysen: Übersicht über die gerechneten SzenarioVarianten 320
4.6-2 Entwicklung der CO_2-Emissionen in den Modell-Basis-Varianten 322
4.6-3 Durchschnittliche Kosten der CO_2-Minderung: Vergleich des Reduktions-Szenarios I mit dem Modell-Basis-Szenario sowie mit der Modell-Basis-Variante „Geringerer Ausbau Windenergie“ 323
4.6-4 Entwicklung des Primärenergieverbrauchs in den Varianten des Modell-Basis-Szenarios 324
4.6-5 Entwicklung der Netto-Stromproduktion in den Varianten des Modell-Basis-Szenarios 326
4.6-6 Entwicklung der Kohlendioxidemissionen in den Varianten des Reduktions-Szenarios I 328
4.6-7: Entwicklung des Primärenergieverbrauchs in den Varianten des Reduktions-Szenarios I 329
4.6-8 Durchschnittliche Kosten und Grenzkosten der CO_2-Minderung: Vergleich Modell-Basis- Szenario mit Reduktions-Szenario I Variante „Kohlebegrenzungen wie im Modell-Basis-Szenario“ 330
5.2-1 Struktur des Endenergieverbrauch in der Industrie nach Anwendungszwecken 2001 337

5.2-2 Energieverbrauch nach Energieträgern und CO_2–Emissionen im Sektor Industrie: Modifiziertes Referenz-Szenario und Modell-Basis-Szenario 339
5.2-3 Direkte energiebedingte CO_2–Emissionen im Modell-Basis-Szenario und in den beiden Reduktionsszenarien im Sektor Industrie 340
5.2-4 Endenergieverbrauch nach Energieträgern in der Industrie im Modell-Basis-Szenario sowie in den Reduktions-Szenarien 1 und 2 341
5.2-5 Energieeinsparpotenziale im Bereich thermischer Nutzung von Energie im Sektor Industrie (bezogen auf 1998) 342
5.2-6 Maßnahmen und Maßnahmenwirkungen zur Realisierung von Einsparpotenzialen bei thermischer Nutzung von Energie in der Industrie ...343
5.2-7 Energieeinsparpotenziale im Bereich elektrischer Anwendungen im Sektor Industrie 346
5.2-8 Maßnahmen und Maßnahmenwirkungen zur Realisierung von Einsparpotenzialen bei elektrischer Nutzung von Energie in der Industrie ...349
5.2-9 Zusätzliches Reduktionspotenzial der energiebedingten CO_2–Emissionen in der Industrie (direkte und stromseitige Emissionen).....352
5.3-1 Struktur des Endenergieverbrauch im GHD-Sektor nach Anwendungszwecken 2001 358
5.3-2 Energieverbrauch nach Energieträgern und CO_2–Emissionen im Sektor GHD: Modifiziertes Referenz-Szenario und Modell-Basis-Szenario 359
5.3-3 CO_2–Emissionen im Modell-Basis-Szenario und in den beiden Reduktionsszenarien im Sektor GHD 360
5.3-4 Endenergieverbrauch nach Energieträgern im Sektor GHD im Modell-Basis-Szenario sowie in den Reduktions-Szenarien I und II 361
5.3-5 Energieeinsparpotenziale im GHD-Sektor (Brennstoffe und Strom).....362
5.3-6 Zusätzliches Reduktionspotenzial der energiebedingten CO_2–Emissionen im GHD-Sektor (direkte und stromseitige Emissionen) 364
5.4-1 Entwicklung des Endenergieverbrauchs der Haushalte und des Brennstoffverbrauchs für Raumwärme und Warmwasser bis 2030 (temperaturbereinigt).....372
5.4-2 Entwicklung der CO_2-Emissionen der Haushalte bis 2030 (temperaturbereinigt).....373
5.4-3 Stromverbrauch in Haushalten im Modell-Basis-Szenario sowie in den Reduktions-Szenarien I und II (2000 – 2030).....375
5.4-4: Ausstattungsraten der Haushalte mit Elektrogeräten (2000 – 2030).....380
5.4-5: Entwicklung der Wohnfläche (2000 – 2030) 381
5.4-6: Spezifischer Stromverbrauch der betrachteten im Haushalt eingesetzten Geräte im Referenzszenario (Flottendurchschnitt) (2000 – 2030).....382
5.4-7: Spezifischer Stromverbrauch von Heizungsumwälzpumpen.....383
5.4-8: Entwicklung des spezifischen Stromverbrauchs von Heizungsumwälzpumpen im Referenzszenario (2000 – 2030).....384
5.4-9: Durchschnittliche jährliche Effizienzentwicklung der Elektrogeräte von 1992 bis 1997, Reduktionsfaktor sowie angenommene Effizienzentwicklung im Mit-Maßnahmen-Szenario I (2000 – 2030).....385

5.4-10: Festgelegte Stromverbrauchswerte für Neugeräte im Mit-Maßnahmen-Szenario I (2005 – 2030).....386
5.4-11: Spezifischer Stromverbrauch von Elektrogeräten im Mit-Maßnahmen-Szenario I (Flottendurchschnitt) (2000 – 2030).....387
5.4-12: Entwicklung des spezifischen Stromverbrauchs von Heizungs-umwälzpumpen im Mit-Maßnahmen-Szenario I (2000 – 2030).....388
5.4-13: Spezifischer Stromverbrauch der Best-Geräte im Jahr 2000 388
5.4-14: Festgelegte Energieverbrauchswerte für Neugeräte im Mit-Maßnahmen-Szenario II (2000 – 2030) 389
5.4-15: Spezifischer Stromverbrauch von Elektrogeräten im Mit-Maßnahmen-Szenario II (Flottendurchschnitt) (2000 – 2030) 390
5.4-16: Entwicklung des spezifischen Stromverbrauchs von Heizungs-umwälzpumpen im Mit-Maßnahmen-Szenario II (2000 – 2030) 391
5.4-17 Stromverbrauch in Haushalten in den Szenarien und Vergleich der Mit-Maßnahmen-Szenarien I und II mit dem Referenzszenario (2000 – 2030) 392
5.5-1 Endenergieverbrauch nach Energieträgern im Sektor Verkehr im Modell-Basis-Szenario und im Referenz-Szenario sowie in den Reduktions-Szenarien I und II.....399
5.5-2 Entwicklung der CO_2-Emissionen im Sektor Verkehr in den Szenarien 400
5.5-3 Die Veränderungen des verkehrsbezogenen Energieverbrauchs in den Szenarien der Enquete-Kommission 402
5.5-4 Treibhausgasemissionen insgesamt sowie CO_2-Emissionen im Sektor Verkehr in den Szenarien der Enquete-Kommission.....403
5.5-5 Anteile emissionsfreier Energieträger und vom Biokraftstoffen am verkehrsbedingten Energieverbrauch in den Szenarien der Enquete-Kommission.....404
5.5-6 Fahrleistungen im Straßenpersonen- und Straßengüterverkehr sowie Verkehrsleistungen im Personen- und Güterverkehr 1997 und 2020 412
5.5-7 CO_2-Emissionen im Sektor Verkehr im Trend- und Nachhaltigkeitsszenario bis 2020.....414
5.5-8 Veränderungen der CO_2-Emissionen im Sektor Verkehr im Trend- und Nachhaltigkeitsszenario bis 2020.....414
5.6-1 Energiebedarfs- und emissionsbestimmende Größen, Referenz- sowie Materialeffizienz- und Nachhaltigkeits-Szenario, 2000 - 2030 421
5.6-2 Energiebedarf und veränderte CO_2-Emissionen von Referenz- und Materialeffizienz-/Nachhaltigkeits-Szenario, 2000 bis 2030.....423
5.7-1 Energiebedarf und veränderte CO_2-Emissionen von Referenz und Nachhaltigkeits-Szenario, 2000-2030 427
5.8-1 CO_2-Emissionen im Umwandlungssektor im Modell-Basis-Szenario, im Referenz-Szenario sowie in den Reduktionsszenarien I und II.....428
5.8-2 Veränderungen der CO_2-Emissionen im Modell-Basis-Szenario im Referenz-Szenario sowie in den Reduktionsszenarien I und II gegenüber 2000 in der Gliederung der deutschen Energiebilanzen.....429

5.8-3 Stromverbrauch im Modell-Basis-Szenario, im Referenz- Szenario sowie in den Reduktionsszenarien I und II 430
5.8-4 Nettostromerzeugung im Modell-Basis-Szenario im Referenz- Szenario sowie in den Reduktionsszenarien I und II 431
5.8-5 Nettoengpassleistung der Kraftwerke im Modell-Basis-Szenario im Referenz-Szenario sowie in den Reduktionsszenarien I und II 432
5.8-6 Brennstoffeinsatz zur Stromerzeugung im Modell-Basis-Szenario, im Referenz-Szenario sowie in den Reduktionsszenarien I und II 433
5.8-7 CO_2-Emissionen in der Strom- und Fernwärmewirtschaft im Modell-Basis-Szenario, im Referenz-Szenario sowie in den Reduktionsszenarien I und II 434
5.9-1 Nutzung erneuerbarer Energien im modifizierten Referenzszenario 441
5.9-2 Beitrag erneuerbarer Energien in den Modellszenarien 445
5.9-3 Klassifikation preis- und mengenpolitischer Regulierung zur speziellen Förderung erneuerbarer Energien 450
5.10-1 Entwicklung der Nicht-CO_2-Treibhausgasemissionen im *Mit-Maßnahmen-Szenario* bis zum Jahr 2030 465
5.10-2 Effekt weiterer Maßnahmen zur Emissionsminderung von Nicht-CO_2-Treibhausgasen in 2010 / 2020 / 2030 468
5.10-3 Entwicklung der Nicht-CO_2-Treibhausgasemissionen im *Mit-weiteren Maßnahmen-Szenario* bis zum Jahr 2030 469
5.10-4 Entwicklung der nicht-energiebedingten CO_2-Emissionen nach Quellbereichen, Mit-Maßnahmen-Szenario und Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario, 1990 bis 2030 470
6.4-1 Ausgestaltung des EU-Emissionsrechtehandels im Überblick 476
7.1-1 Entwicklung der CO_2-Emissionen in Deutschland bis 2030 in den Szenarien 486
7.1-2 Veränderungen der CO_2-Emissionen in Deutschland bis 2030 in den Reduktionsszenarien im Vergleich zum Modell-Basis-Szenario und zum Referenz-Szenario 487
7.2-1 Überblick über die wichtigsten Maßnahmenfelder in den Reduktionsszenarien - Änderungen im Jahr 2030 gegenüber dem Modell-Basis-Szenario 488
8.1-1 Entwicklung der Treibhausgasemissionen bis 2010 im Mit-Maßnahmen-Szenario (Referenz-Szenario) und im Ohne-Maßnahmen-Szenario 491
8.1-2 Demographische und gesamtwirtschaftliche Rahmendaten 493
8.1-3 Primärenergieverbrauch im Modell-Basis-Szenario sowie in den Reduktionsszenarien I und II nach Energieträgern 495
8.1-4 CO_2-Emissionen im Modell-Basis-Szenario sowie in den Reduktionsszenarien I und II nach Sektoren 497
8.1-5 Durchschnittliche Kosten und Grenzkosten der CO_2-Minderung 498
8.1-6 Sektorale Mehrkosten pro Jahr in den Reduktionsszenarien gegenüber dem Modell-Basis-Szenario 500

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

1.2-1 Methodischer Ansatz der Szenarienanalysen 3

2.1-1 Treibhausgasemissionen in der EU-15: Ist Basisjahr bis 2001 sowie Ziele Basisjahr bis 2008/2012 nach dem europäischen „burden sharing“ 8

2.1-2 Verteilung der gesamten absoluten Reduktion der Treibhausgas-emissionen sowie der CO_2-Emissionen von 1990 bis 2002 auf die Jahre (kumulierte Angaben) 12

2.3-1 Vergleich der energiebedingten CO_2-Emissionen in verschiedenen Referenzprojektionen 26

2.3-2 Vergleich der CO_2-Emissionen für verschiedene Referenz- projektionen in den Sektoren Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen 27

2.3-3 Vergleich der CO_2-Emissionen für verschiedene Referenzprojektionen im Sektor Verkehr 28

2.3-4 Vergleich der energiebedingten CO_2-Emissionen für verschiedene Referenzprojektionen in den Sektoren Übrigen Bergbau und Verarbeitendes Gewerbe 29

2.3-5 Vergleich der energiebedingten CO_2-Emissionen für verschiedene Referenzprojektionen im Umwandlungssektor 30

2.3-6 Vergleich der gesamten energiebedingten CO_2-Emissionen in verschiedenen Klimaschutz-Szenarien 31

2.3-7 Vergleich der CO_2-Emissionen für verschiedene Klimaschutz-Szenarien in den Sektoren Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen 32

2.3-8 Vergleich der CO_2-Emissionen für verschiedene Klimaschutz-Szenarien im Verkehrssektor 33

2.3-9 Vergleich der energiebedingten CO_2-Emissionen für verschiedene Klimaschutz-Szenarien in den Sektoren Übriger Bergbau und verarbeitendes Gewerbe 34

2.3-10 Vergleich der energiebedingten CO_2-Emissionen für verschiedene Klimaschutz-Szenarien im Umwandlungssektor 34

3.2-1 Erzielte Emissionsminderungen und Minderungsziele für spezifische Emissionen, 1999 bzw. 2005 und 2012 62

3.2-2 Stromerzeugung aus industriellen KWK-Anlagen (bei gleichzeitiger Wärmeauskopplung und bei reinem Kondensationsbetrieb, Anlagen über 1 MW) 67

3.2-3 Entwicklung des durchschnittlichen Industriestrompreises 67

3.4-1 CO_2-Emission des Haushaltssektors von 1990 bis 2001 89

3.4-2 Entwicklung der CO_2-Minderung im Altbaubereich 103

3.4-3 Fortschreibung der Netto-CO_2-Einsparung im Altbaubereich für Programme96 und Programm01 104

3.4-4 Altersstruktur der Ölfeuerungen 107

3.4-5 Altersstruktur der Gasfeuerungen 107
3.4-6 Entwicklung von Energieverbrauch im Haushaltsektor und von Brennstoffverbrauch für Raumwärme und Warmwasser bis 2010 (temperaturbereinigt).....110
3.4-7 CO_2-Emission der Haushalte von 1990 bis 2010 112
3.4-8: Veränderung des spezifischen Stromverbrauchs von Haushaltsneugeräten (1995 – 2000) 118
3.6-1 Von den gestaltbaren energiebedarfsbestimmenden Größen bis zum Primärenergiebedarf – Energiefluss-Diagramm Deutschland 2001.....158
3.8-1 Spezifische CO_2-Emissionen der Stromerzeugung von 1990 bis 2002 179
3.8-2 Leistungsverteilung der geplanten Modernisierungsanlagen.....191
3.9-1 Anteil von Windkraft, Wasserkraft und sonstigen Energieträgern am Primärenergieverbrauch in Deutschland von 1990 bis 2003.....202
3.9-2 Entwicklung des 100 000-Dächer-Solarstrom-Programms.....211
3.9-3 Anträge im Marktanreizprogramm 2000 bis 2003 225
3.9-4 Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch in Deutschland bis 2010 (ohne Abfall und Umgebungswärme) 244
3.10-1 Entwicklung der spezifischen nicht-energiebedingten CO_2-Emissionen in der Zementindustrie.....273
4.4-1 Energiebedingte CO_2-Emissionen in den Modell-Basis-, Referenz- und Reduktionsszenarien.....306
4.4-2 CO_2-Einsparung nach Sektoren bei vorgegebener Reduktion bis 2030 um 40 % bzw. um 50 %.....307
4.4-3 Spezifischer Raumwärmebedarf in den jeweiligen Szenarien 310
4.4-4: Spezifische Emissionen für die Stromerzeugung in den Szenarien 315
4.6-1 Stromproduktion in Abhängigkeit von den relativen Erdgaspreisen 327
5.2-1 Koordinierte Maßnahmen zur rationellen Stromnutzung in der Industrie.....347
5.2-2 Wirkungen der Maßnahmen zur Reduzierung von direkten energiebedingten CO_2-Emissionen im Industriesektor 353
5.2-3 Wirkungen der Maßnahmen zur Reduzierung von Strom im Industriesektor (ohne KWK-Strom).....354
5.3-1 Wirkungen der Maßnahmen zur Reduzierung von direkten energiebedingten CO_2-Emissionen im GHD-Sektor.....365
5.3-2 Wirkungen der Maßnahmen zur Reduzierung von Strom im GHD-Sektor (ohne KWK Strom).....365
5.4-1 Entwicklung des Endenergieverbrauchs der Haushalte und des Brennstoffverbrauchs für Raumwärme und Warmwasser bis 2030 (temperaturbereinigt).....372
5.4-2 Entwicklung der CO_2-Emissionen der Haushalte bis 2030 (temperaturbereinigt).....373

5.4-3: Stromverbrauch in den Haushalten in den Szenarien (2000 – 2030) 392
5.4-4 Jährliche Stromeinsparung in den Mit-Maßnahmen-Szenarien I und II im Vergleich zum Referenzszenario (2000 – 2030).....393
5.4-5 CO_2-Emissionen durch den Stromverbrauch der Haushalte (2000 – 2030) 394
5.4-6 Jährliche CO_2-Ersparnis der Mit-Maßnahmen-Szenarien I und II im Vergleich zum Referenzszenario (2000 – 2030).....395
5.4-7 Relative Minderung der CO_2-Emissionen gegenüber 1990 (2000 – 2030) 396
8.1-1 Primärenergieverbrauch im Modell-Basis-Szenario sowie in den Reduktionsszenarien I und II nach Energieträgern 496
8.1-2 CO_2-Emissionen im Modell-Basis-Szenario sowie in den Reduktionsszenarien I und II nach Sektoren 498

1 Ziele, Aufgabenstellung und Methodik der Untersuchung (DIW Berlin)

1.1 Vorbemerkungen

Im Auftrag des Umweltbundesamtes wurden zwischen 1996 und 1999 unter dem Titel "Politikszenarien für den Klimaschutz" von den Partnern Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW Berlin), Forschungszentrum Jülich, Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (FhG-ISI) und Institut für angewandte Ökologie (Öko-Institut) verschiedene Analysen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen aus dem deutschen Energiesystem, industriellen Prozessen und sonstigen Emissionsquellen durchgeführt. Dabei wurde insbesondere auch das IKARUS-Instrumentarium genutzt. Diese Vorhaben – verkürzt als „Politikszenarien I“ und Politikszenarien II“ bezeichnet – fanden Eingang in die Klimaschutzberichte der Bundesregierung. Um die neueren Entwicklungen - national wie international - sowie damit einhergehende veränderte Fragestellungen sowie die jüngeren klimapolitischen Entscheidungen der Bundesregierung berücksichtigen zu können, war eine Aktualisierung wie eine Ausweitung des Betrachtungshorizontes geboten.

Mit dem nun verfolgten Vorhaben "Politikszenarien III" werden zwei zentrale *Ziele* verfolgt:

- Erstens sollen mit Blick auf den nächsten Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe „CO_2-Reduktion“ (IMA-CO_2) die im Nationalen Klimaschutzprogramm vom 18. Oktober 2000 enthaltenen sowie die neueren klimaschutzpolitischen Maßnahmen hinsichtlich ihrer emissionsreduzierenden Wirkungen analysiert und bewertet werden.

- Zweitens gilt es, über 2012 hinaus reichende langfristige Szenarien der Emissionsentwicklung zu beschreiben und dafür Handlungsempfehlungen für eine auf Emissionsminderung zielende Klimaschutzpolitik zu erarbeiten.

Entsprechend dieser doppelten Zielsetzung besteht dieses Vorhaben aus zwei Teilen:

Im *ersten Teil* (Kapitel 2 und 3) werden die bisherigen Maßnahmen zur Emissionsminderung getrennt nach einzelnen Emittentengruppen und Maßnahmenkategorien beschrieben und vor allem hinsichtlich ihrer künftigen emissionsmindernden Wirkungen bis zum Jahr 2010 (die Periode 2008/2012 repräsentierend) – soweit möglich – quantitativ analysiert. Dabei sollen die Maßnahmen berücksichtigt werden, die seit 1998 ergriffen oder beschlossen worden sind. Während sich die quantitativen Wirkungsschätzungen im wesentlichen auf Maßnahmen der

Bundesebene konzentrieren, werden diejenigen Maßnahmen, die unmittelbar aus Entscheidungen der EU auf der einen Seiten sowie der Regionen und Kommunen auf der anderen Seite resultieren, nur kursorisch behandelt.

Als Ergebnis dieses Untersuchungsteils wird dargestellt, welchen Gesamtbeitrag die umgesetzten und beschlossenen Maßnahmen zur Minderung der Treibhausgasemissionen künftig leisten dürften. Unter Berücksichtigung der geschätzten Wirkungen bisheriger Maßnahmen wird ein Szenario der künftigen Entwicklung abgeleitet, das dann im Hinblick auf den klimaschutzpolitischen Zielereichungsgrad zu bewerten ist. Dabei ist das Ziel für die Periode 2008/2012 mit der im Rahmen des europäischen „burden sharing“ vereinbarten Reduktion der Treibhausgasemissionen um 21 % gegenüber 1990 bzw. dem Basisjahr[1] eindeutig fixiert.

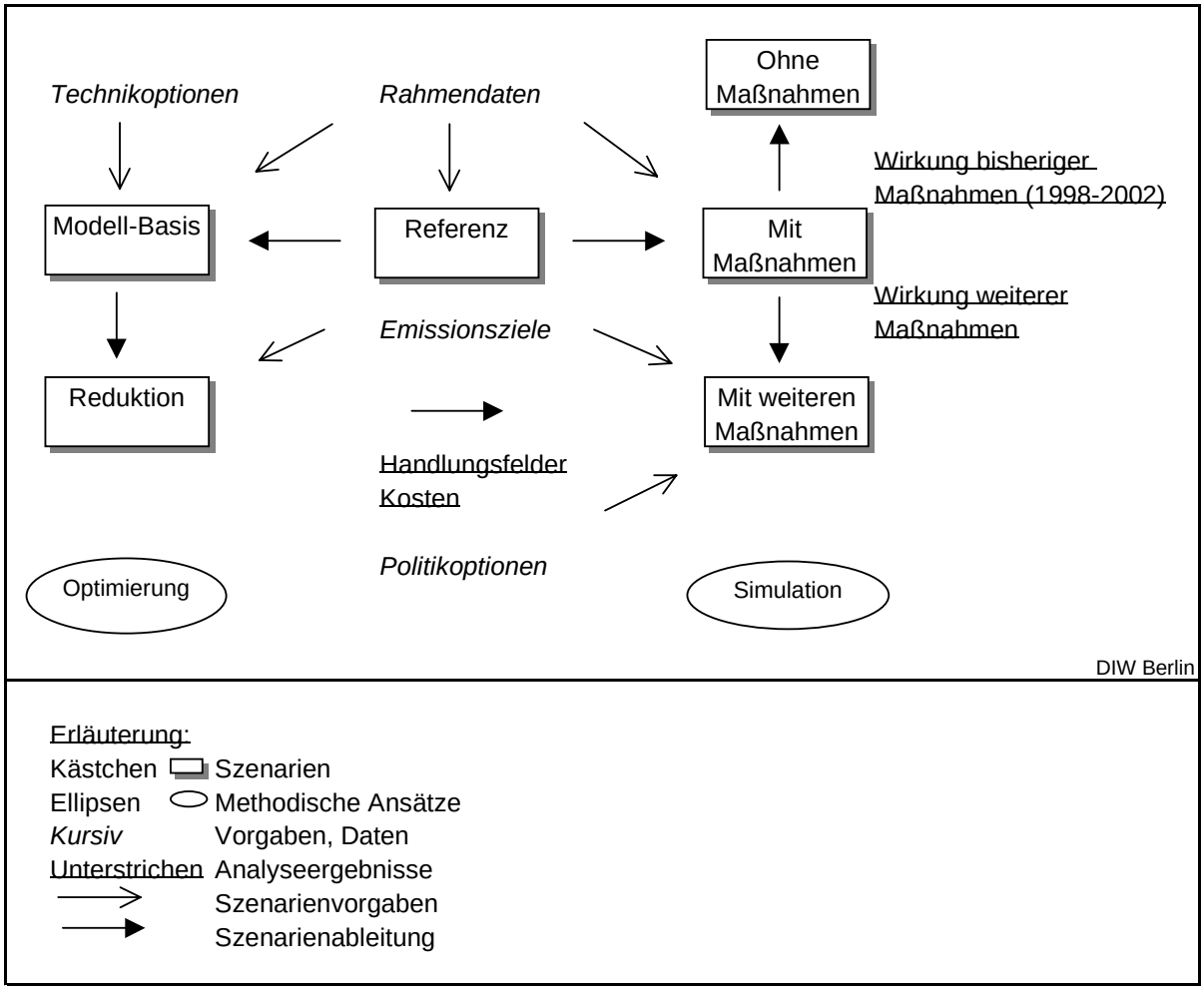
Im *zweiten Teil* des Vorhabens (vor allem Kapitel 4 und 5) werden mit Blick auf die längerfristige Entwicklung weitere, zielführende Möglichkeiten der Emissionsreduzierung untersucht. Dazu wird vor allem das IKARUS-Modell verwendet, das zur Bearbeitung dieses Vorhabens hinsichtlich der Rahmendaten, aber auch der Daten etwa zum spezifischen Energiebedarf in einzelnen Bereichen und zu den Kosten der im Modell enthaltenen „Techniken“ überprüft, aktualisiert und bis zum Jahr 2030 fortgeschrieben worden ist. Mit der Verwendung des IKARUS-Modells wird einerseits unter Vorgabe bestimmter Emissionsreduktionsziele und weiterer Restriktionen die modellgestützte Konsistenz der Szenarien gesichert, andererseits lassen sich mit Hilfe dieses Modells die Handlungsfelder für kostengünstige Maßnahmen sowie die volkswirtschaftlichen Gesamtkosten der Emissionsverminderung ermitteln.

Als wichtiges Ergebnis des zweiten Untersuchungsteils sollen ausgehend von zielorientierten Reduktionsszenarien insbesondere Handlungsempfehlungen im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung formuliert werden.

1.2 Der methodische Ansatz

Der *methodische Ansatz* des Gesamtvorhabens ist zusammenfassend in Abbildung 1.2-1 skizziert. Dabei sind insbesondere die Verknüpfungen zwischen den unterschiedlichen Szenarien hervorgehoben, die für dieses Vorhaben von zentraler Bedeutung sind. Die einzelnen Szenarien werden in Übersicht 1.2-1 überblicksartig definiert und erläutert.

Abbildung 1.2-1 Methodischer Ansatz der Szenarienanalysen



Ausgehend vom Referenzszenario der Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“ wird unter Berücksichtigung aktueller Einschätzungen und politischer Beschlüsse ein Mit-Maßnahmen-Szenario abgeleitet.

Im ersten Untersuchungsteil dient dieses Szenario hauptsächlich dem Vergleich mit einem (fiktiven) Ohne-Maßnahmen-Szenario, das sich von diesem durch die Wirkungen der Maßnahmen unterscheidet, die von 1998 bis 2002 ergriffen oder beschlossen wurden.

Die Quantifizierung der Wirkungen der bisherigen Maßnahmen beruht auf Expertenschätzungen für einzelne Sektoren. Die Differenz zwischen diesen beiden Szenarien spiegelt den er-

[1] Für die Treibhausgase CO_2, CH_4 und N_2O ist 1990 das Basisjahr; für HFCs, PFCs und SF_6 ist das Basisjahr 1995.

warteten Beitrag der aktuellen Bundespolitik zur Verminderung der Emission von Treibhausgasen in Deutschland wider.

Übersicht 1.2-1 Szenarienübersicht

Szenarien	**Erläuterungen**
Referenzszenario	Referenzszenario der Enquete-Kommission (2002); Status-Quo-Szenario nach IER, WI, Prognos (2002)
Mit-Maßnahmen-Szenario	Modifiziertes Referenzszenario auf der Basis aktueller Einschätzungen; Berücksichtigung von allen bisher umgesetzten und beschlossenen politischen Maßnahmen (Stand Ende 2002)
Ohne-Maßnahmen-Szenario	Fiktive Entwicklung, die zu erwarten wäre, wenn die politischen Maßnahmen ab 1998 nicht ergriffen bzw. beschlossen worden wären
Modell-Basis-Szenario	Vergleichsrechnung mit dem (dynamischen linearen) IKARUS-Optimierungsmodell ohne Vorgabe von Emissionszielen; Rahmendaten zum Teil mit dem (modifizierten) Referenzszenario abgestimmt
Reduktionsszenario I als Grundlage für das Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario I	Ergebnis des IKARUS-Optimierungsmodells; Rahmendaten wie im Modell-Basis-Szenario; vorgegebene CO_2-Emission 2030 um 40 % niedriger als 1990 Politikszenario in Anlehnung an Reduktionsszenario I
Reduktionsszenario II als Grundlage für das Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario II	Ergebnis des IKARUS-Optimierungsmodells; Rahmendaten wie im Modell-Basis-Szenario; vorgegebene CO_2-Emission 2030 um 50 % niedriger als 1990 Politikszenario in Anlehnung an Reduktionsszenario II

Für den zweiten Untersuchungsteil wird parallel zum Referenz- bzw. Mit-Maßnahmen-Szenario mit Hilfe des IKARUS-Modells zunächst ein Modell-Basis-Szenario mit abgestimmten demografischen, gesamtwirtschaftlichen und energiewirtschaftlichen Rahmendaten formuliert. Neben solchen Rahmendaten werden diesem Modell Daten über künftige Kosten und Potenziale von einzelnen Techniken in den Bereichen Primärenergie, Umwandlung und Endenergieverbrauch vorgegeben. In Abhängigkeit von diesen Daten ermittelt das Modell eine optimale Entwicklung des Energiesystems im Sinne eines kostenminimierenden Technikmixes für die betrachteten Untersuchungsperioden.

Dabei ist zu beachten, dass bei den IKARUS-Modellrechnungen nach gesamtwirtschaftlichen Kosten optimiert wird. Dies ist nicht zu verwechseln mit den Kostenkategorien, mit denen die einzelnen Wirtschaftssubjekte in der Realität konfrontiert werden. Während in der Realität das Entscheidungsverhalten der Wirtschaftssubjekte durch staatliche Transfers, Subventionen und Steuern wesentlich beeinflusst werden, sind es beim IKARUS-Modell lediglich die Systemkosten der einbezogenen Techniken. Im Ergebnis führt dies dazu, dass einzelwirtschaftliche und gesamtwirtschaftliche Optima durchaus voneinander abweichen können. Vor diesem Hintergrund eignen sich gesamtwirtschaftliche Optimierungsmodelle weniger zum Abbilden individueller Entscheidungen beispielsweise mit Blick auf Investitionen zur Energieeinsparung oder zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen, vielmehr sollen sie den politischen Akteuren aufzeigen, welche Strukturen aus gesamtwirtschaftlicher Sicht unter vorgegebenen Randbedingungen optimal sind.

Das Modell-Basis-Szenario ist Ausgangspunkt und Vergleichsmaßstab für zielorientierte Reduktionsszenarien, in denen Obergrenzen für die Emission von Treibhausgasen eingehalten werden müssen (z.B. Beschränkung der CO_2-Emission im Jahr 2030 auf ein Niveau, das 30 oder 40 % niedriger ist als 1990). In Abhängigkeit von solchen Zielvorgaben liefern die Rechnungen mit dem Optimierungsmodell Änderungen im Energiesystem, die als technologiebezogene Handlungsfelder angesehen werden können. Darüber hinaus können mit dem Modell die Gesamtkosten geschätzt werden, die zur Erreichung der Zielvorgaben aufgewendet werden müssen.

In Anlehnung an die technologiebezogenen Ergebnisse der Reduktionsszenarien werden in einem folgenden Schritt geeignete Politikoptionen diskutiert, die eine Umsetzung der langfristig angelegten Reduktionsstrategien ermöglichen. Als Resultat werden Handlungsempfehlungen und entsprechende Politikszenarien formuliert, die sich vom Mit-Maßnahmen-Szenario durch die Wirkung weiterer Maßnahmen unterscheiden, die künftig ergriffen werden sollten, um die Reduktionsziele zu erreichen (Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenarien).

1.3 Aufbau des Endberichts

Nach einem kurzen Rückblick auf die Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland seit 1990 wird in Kapitel 2 zunächst die künftige Entwicklung gemäß dem Referenzszenario der Enquete-Kommission beschrieben, das den Ausgangspunkt für die weiteren Szena-

rienanalysen dieser Untersuchung darstellt. Darüber hinaus wird ein Überblick über weitere Szenarien aus vorliegenden Studien gegeben.

Im folgenden Kapitel 3 wird schwergewichtig auf Fragen des ersten Teils der Untersuchung eingegangen, in dem es vornehmlich um die Evaluierung der seit 1998 implementierten und beschlossenen klimaschutzpolitischen Maßnahmen geht. Dazu werden die bisherigen Maßnahmen in sektoraler Gliederung skizziert und hinsichtlich ihrer künftigen emissionsmindernden Wirkungen diskutiert. Im Ergebnis wird für das Jahr 2010 (als Indikator für die erste Verpflichtungsperiode 2008/2012) ein Referenzszenario beschrieben, das die Wirkungen der in die Überlegungen aller einbezogenen Maßnahmen beinhaltet. Gleichzeitig wird der gesamte Minderungsbeitrag dieser Maßnahmen – also deren Erfolge - hervorgehoben.

Ein weiterer Schwerpunkt dieses Endberichts liegt – entsprechend der für den Teil 2 der Untersuchung vorgesehenen Inhalte – auf den modellgestützten Szenariorechnungen. Dazu werden in Kapitel 4 die Annahmen wie die Ergebnisse für die untersuchten Szenarien, insbesondere auch im Hinblick auf die kostenseitigen Implikationen der Reduktionsszenarien dargestellt und um Sensitivitätsrechnungen ergänzt.

Die mit Hilfe des IKARUS-Modells für die Reduktionsszenarien ausgewiesenen Ergebnisse beziehen sich in erster Linie darauf, welche technischen Emissionsminderungsmöglichkeiten unter den vorgegebenen Randbedingungen jeweils „in Lösung gehen“. Diese Ergebnisse sagen aber noch nichts darüber aus, auf welchem Wege diese Lösungsmöglichkeiten in der Realität auch tatsächlich umgesetzt werden könnten. Diesen Weg zu beschreiben, d.h. die zur Umsetzung für notwendig erachteten politischen Maßnahmen herauszuarbeiten, ist Aufgabe des fünften Kapitels. Hier werden zunächst entsprechend der sektoralen Gliederung die als besonders wirksam angesehenen Instrumente und Maßnahmen diskutiert und entsprechende Empfehlungen ausgesprochen.

Ergänzend wird in Kapitel 6 danach gefragt, ob und in welcher Weise das Instrument des internationalen Handels mit Emissionsrechten zur angestrebten Emissionsminderung beitragen kann.

Im siebten Kapitel schließlich werden die Reduktionsszenarien in einer Gesamtbetrachtung der Referenzentwicklung gegenüber gestellt, während das achte Kapitel eine zusammenfassende Darstellung mit den zentralen politischen Schlussfolgerungen umfasst.

2 Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland seit 1990 und im Referenzszenario der Enquete-Kommission

2.1 Entwicklung seit 1990 (DIW Berlin)

Innerhalb der EU hat Deutschland in den neunziger Jahren den größten Beitrag zum Klimaschutz geleistet. Von 1990 bis 2001 sind hier die Emissionen der sechs Treibhausgase (nach dem Kyoto-Protokoll; ohne Berücksichtigung der Senken) um rund 223 Mio. t CO_2-Äquivalente oder um 18,3 % gefallen. In der EU-15 insgesamt betrug der Rückgang ausweislich der im Frühjahr 2003 vorgelegten Nationalen Treibhausgasinventare etwa 104 Mio. t CO_2-Äquivalente oder nur 2,5 %. Rechnet man Deutschland heraus, so sind die Emissionen in der übrigen EU sogar um 118 Mio. t CO_2-Äquivalente oder um 3,9 % gestiegen (Tabelle 2.1-1).

Tabelle 2.1-1 Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der EU-15 von 1990 bis 2001 nach Ländern

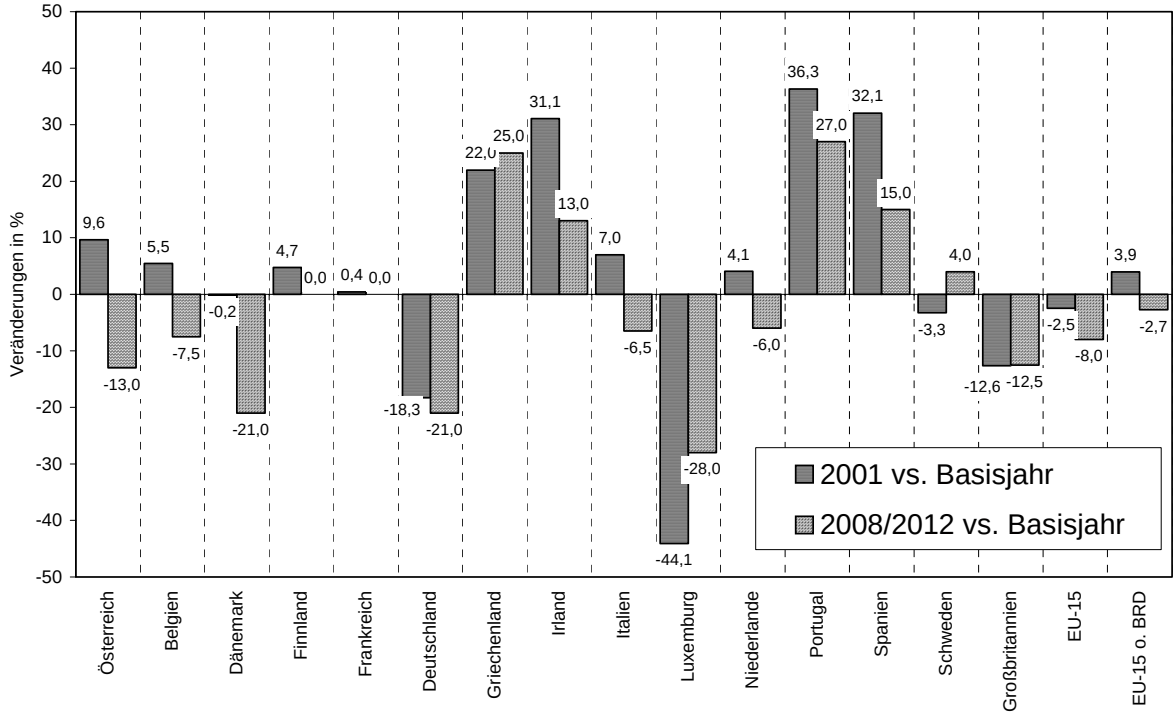
	Basisjahr[1)]	1990	1995	2001	Veränderungen vom Basisjahr bis 2001	
	Mio. t CO_2-Äquivalente					%
Österreich	78,3	78,1	80,8	85,9	7,6	9,6
Belgien	142,4	142,4	152,1	150,2	7,8	5,5
Dänemark	69,5	69,2	77,3	69,4	-0,1	-0,2
Finnland	77,2	77,2	76,7	80,9	3,7	4,7
Frankreich	565,8	568,2	565,4	568,2	2,4	0,4
Deutschland	**1218,2**	**1213,5**	**1061,8**	**995,3**	**-222,8**	**-18,3**
Griechenland	108,4	106,1	110,5	132,2	23,8	22,0
Irland	53,4	53,2	57,6	70,0	16,6	31,1
Italien	509,3	508,6	520,4	544,9	35,6	7,0
Luxemburg	10,9	10,9	7,8	6,1	-4,8	-44,1
Niederlande	211,1	210,0	223,3	219,7	8,6	4,1
Portugal	61,4	61,4	70,0	83,8	22,3	36,3
Spanien	289,9	287,6	319,4	382,8	92,9	32,1
Schweden	72,9	72,8	75,1	70,5	-2,4	-3,3
Großbritannien	756,0	752,9	692,1	660,5	-95,5	-12,6
EU-15	4224,7	4212,2	4090,3	4120,2	-104,4	-2,5
EU ohne Deutschland	3006,5	2998,7	3028,4	3124,9	118,4	3,9

[1)] Basisjahr für CO_2, CH_4 und N_2O ist 1990; für PFCs, HFCs und SF_6 ist das Basisjahr 1995.
Quellen: Nationale Inventare 2003 der EU-Mitgliedsländer; Berechnungen des DIW Berlin.

Schon heute muss bezweifelt werden, ob die EU-15 als ganzes in der Lage sein wird, die bis zum Jahre 2008/2012 zugesagte Treibhausgasemissionsminderung um 8 % zu realisieren.

Vergleicht man die tatsächliche Emissionsentwicklung von 1990 bis 2001 mit den für die erste Verpflichtungsperiode 2008/2012 im Rahmen des europäischen „burden sharing“ vereinbarten Reduktionszielen, so erkennt man bei den meisten EU-Mitgliedstaaten erhebliche Divergenzen: In einigen Ländern sind die Emissionen bis 2001 deutlich stärker gestiegen als dies bis 2008/2012 der Fall sein sollte (insbesondere in Spanien, Portugal und Irland), in anderen Ländern sind sie noch gestiegen oder haben sich nur wenig verändert statt – wie angestrebt - zu sinken (vor allem in Österreich, in Belgien, in Dänemark, in Italien und in den Niederlanden). Ein hohes Maß an Zielerfüllung besteht in Luxemburg, in Großbritannien und in Schweden; Deutschland ist ebenfalls nicht mehr allzu weit davon entfernt (Abbildung 2.1-1).

Abbildung 2.1-1 Treibhausgasemissionen in der EU-15: Ist Basisjahr bis 2001 sowie Ziele Basisjahr bis 2008/2012 nach dem europäischen „burden sharing“



Quellen: Nationale Treibhausgasinventare; Berechnungen des DIW Berlin.

Zu der Emissionsminderung in Deutschland hat auch die Klimaschutzpolitik in erheblichem Umfang beigetragen.[2] Dabei haben sich die Emissionen der einzelnen Treibhausgase von

[2] Zur Analyse der Treibhausgasemissionen in Deutschland und in Großbritannien vgl.: Greenhouse gas reductions in Germany and the UK - Coincidence or policy induced? An analysis for international climate policy. Study on behalf of the German Federal Ministry of the Environment (BMU) and the German Federal Environmental Agency (UBA). Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research (ISI), Science Policy and Technology Policy Research (SPRU) and German Institute for Economic Research (DIW Berlin), June 2001.

1990 bis 2002 sehr unterschiedlich entwickelt[3] (Tabelle 2.1-2): Den größten absoluten Rückgang wiesen mit 151 Mio. t CO_2-Äquivalenten die CO_2-Emissionen auf; das sind fast zwei Drittel des gesamten Rückgangs der Treibhausgasemissionen von 232 Mio. t CO_2-Äquivalente.[4] Es folgen die CH_4-Emissionen mit einer Reduktion von 58 Mio. t CO_2-Äquivalente oder einem Anteil von rund einem Viertel und die N_2O-Emissionen mit 26 Mio. t CO_2-Äquivalente oder einem Anteil von etwa 11 12 %.

Tabelle 2.1-2 Treibhausgasemissionen in Deutschland von 1990 bis 2002 nach Treibhausgasen

	1990/ Basisjahr	1990	1995	2002[1)]	1990/ 2002[1)]	1990/ 1995	1995/ 2002[1)]	1990	1995	2002[1)]
	Treibhausgasemissionen in Mio. t CO_2-Äquivalent				Veränderungen in %			Struktur der Gesamtemissionen ohne Senken		
CO_2-Emissionen ohne Senken	1015,6	1015,6	901,5	864,1	-14,9	-11,2	-4,1	81,5	82,0	85,2
CH_4	139,8	139,8	109,2	81,4	-41,7	-21,9	-25,4	11,2	9,9	8,0
N_2O	81,4	81,4	73,5	55,8	-31,4	-9,7	-24,0	6,5	6,7	5,5
HFCs	6,4	3,5	6,4	8,2	135,0	81,2	29,7	0,3	0,6	0,8
PFCs	1,8	2,7	1,8	0,8	-70,8	-34,8	-55,3	0,2	0,2	0,1
SF_6	6,9	3,9	6,9	4,2	7,7	76,9	-39,1	0,3	0,6	0,4
Insgesamt ohne Senken	1251,7	1246,8	1099,1	1014,6	-18,6	-11,8	-7,7	100,0	100,0	100,0
dar.: Summe Nicht-CO_2-Emissionen	236,2	231,2	197,7	150,5	-34,9	-14,5	-23,9	18,5	18,0	14,8
CO_2-Emissionen mit Senken	1023,1	1023,1	907,1	878,0	-14,2	-11,3	-3,2			
Insgesamt mit Senken	1259,2	1254,3	1104,8	1028,5	-18,0	-11,9	-6,9			

[1)] Vorläufig.- [2)] Basisjahr ist für CO_2, CH_4 und N_2O das Jahr 1990, für HFC, PFC und SF_6 das Jahr 1995.
Quelle: Umweltbundesamt, Nationaler Inventarbericht 2004.

Relativ sind dabei von 1990 bis 2002 die PFC-Emissionen mit knapp 71 %, die CH_4-Emissionen mit fast 42 % und die N_2O-Emissionen mit nahezu einem Drittel erheblich stärker zurückgegangen als die CO_2-Emissionen mit 14,9 %. Die CO_2-Emissionen halten aber mit rund 85 % nach wie vor den weitaus größten Anteil an den gesamten Treibhausgasemissionen. Ein (drastischer) Anstieg war lediglich bei den HFC-Emissionen zu verzeichnen, die im Jahre 2002 mehr als doppelt so hoch waren wie im Basisjahr.

---

3 Die im Folgenden dargestellten Entwicklungen basieren auf den Angaben in dem im März 2004 vorgelegten Nationalen Inventarbericht des Umweltbundesamtes. Es sei schon an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die Angaben für die Nicht-CO_2-Emissionen aufgrund methodischer Veränderungen erheblich von denjenigen Angaben zu den Nicht-CO_2-Emissionen abweichen, die im Nationalen Inventarbericht 2003 veröffentlicht worden sind. Dagegen sind die Abweichungen bei den CO_2-Emissionen nur marginal. Aus Gründen der Aktualität sind in dem hier vorgelegten Vorhaben die Aussagen zu den Nicht-CO_2-Emissionen auf der Basis der jüngsten Inventarangaben entsprechend revidiert worden, während bei den CO_2-Emissionen wegen der marginalen Abweichungen auf eine solche Revision verzichtet werden konnte.

4 Es sei erwähnt, dass die Angaben nach dem Nationalen Inventar 2004 des Umweltbundesamtes abweichen von den Angaben im Technical Report no 95 der European Environment Agency (vgl. Tabelle 2.1-2 mit Tabelle 2.1-1).

Eine differenzierte Entwicklung zeigt sich auch bei den Veränderungen der sektoralen Emissionsstruktur (Tabelle 2.1-3): Den mit weitem Abstand größten absoluten Rückgang weisen mit knapp 172 Mio. t CO_2-Äquivivalenten die energiebedingten Treibhausgasemissionen auf; das sind nahezu drei Viertel der gesamten Emissionsreduktion. Es folgen die Emissionsminderungen aus dem Abfallbereich, aus der Landwirtschaft sowie aus Industrieprozessen. Hervorzuheben ist, dass im Unterschied zu früheren Nationalen Inventarberichten eine Einbeziehung der Emissionen aus „Änderungen der Flächennutzung und Holzbestand“ zu (zunehmend) höheren Emissionen führen und damit den gesamten Rückgang der Treibhausgasemissionen schwächer erscheinen lassen als dies ohne Berücksichtigung der Senken der Fall ist.

Tabelle 2.1-3 Treibhausgasemissionen in Deutschland von 1990 bis 2002 nach Sektoren

	1990/ Basisjahr	1990	1995	2002[1)]	1990/ 2002[1)]	1990/ 1995	1995/ 2002[1)]	1990	1995	2002[1)]
	Treibhausgasemissionen in Mio. t CO_2-Äquivalent				Veränderungen in %			Struktur der Gesamtemissionen ohne Senken		
Energie	1038,8	1038,8	913,9	867,0	-16,5	-12,0	-5,1	83,3	83,1	85,5
Industrieprozesse	65,2	60,3	63,8	43,0	-28,7	5,8	-32,6	4,8	5,8	4,2
Lösemittel- und Produktverwendung	1,9	1,9	1,9	1,9	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2
Landwirtschaft	109,9	109,9	91,1	88,3	-19,7	-17,1	-3,1	8,8	8,3	8,7
Abfallwirtschaft	35,9	35,9	28,3	14,4	-60,0	-21,1	-49,3	2,9	2,6	1,4
Insgesamt ohne Senken	1251,7	1246,8	1099,1	1014,6	-18,6	-11,8	-7,7	100,0	100,0	100,0
Änderungen der Flächennutzung und Holzbestand	7,5	7,5	5,7	13,9	85,0	-24,8	146,0			
Insgesamt mit Senken	1259,2	1254,3	1104,8	1028,5	-18,0	-11,9	-6,9			

[1)] Vorläufig.- [2)] Basisjahr ist für CO_2, CH_4 und N_2O das Jahr 1990, für HFC, PFC und SF_6 das Jahr 1995.

Quelle: Umweltbundesamt, Nationaler Inventarbericht 2004.

Die großen Unterschiede in den sektoralen Emissionsentwicklungen kommen auch deutlich bei den energiebedingten CO_2-Emissionen zum Ausdruck, die im Jahre 2002 insgesamt um 14,9 % niedriger waren als 1990 (Tabelle 2.1-4).

Hier weist die Industrie (einschließlich Baugewerbe) mit 64 Mio. t (-32,7 %) den größten absoluten Rückgang auf, gefolgt vom Energiesektor mit einem Rückgang von rund 57 Mio. t CO_2 (-13,8 %) und den anderen Sektoren mit 30 Mio. t (-14,8 %). Lediglich im Verkehrssektor waren die CO_2-Emssionen im Jahre 2002 höher als 1990, und zwar um rund 14 Mio. t oder um knapp 9 %. Nach 1999 ist es in diesem Sektor allerdings zu einer Emissionsminderung gegenüber dem jeweiligen Vorjahr gekommen, und zwar um 2,0 % (2000), 2,3 % (2001) und 1,0 % (2002).

Tabelle 2.1-4 CO_2-Emissionen in Deutschland von 1990 bis 2002 nach Sektoren

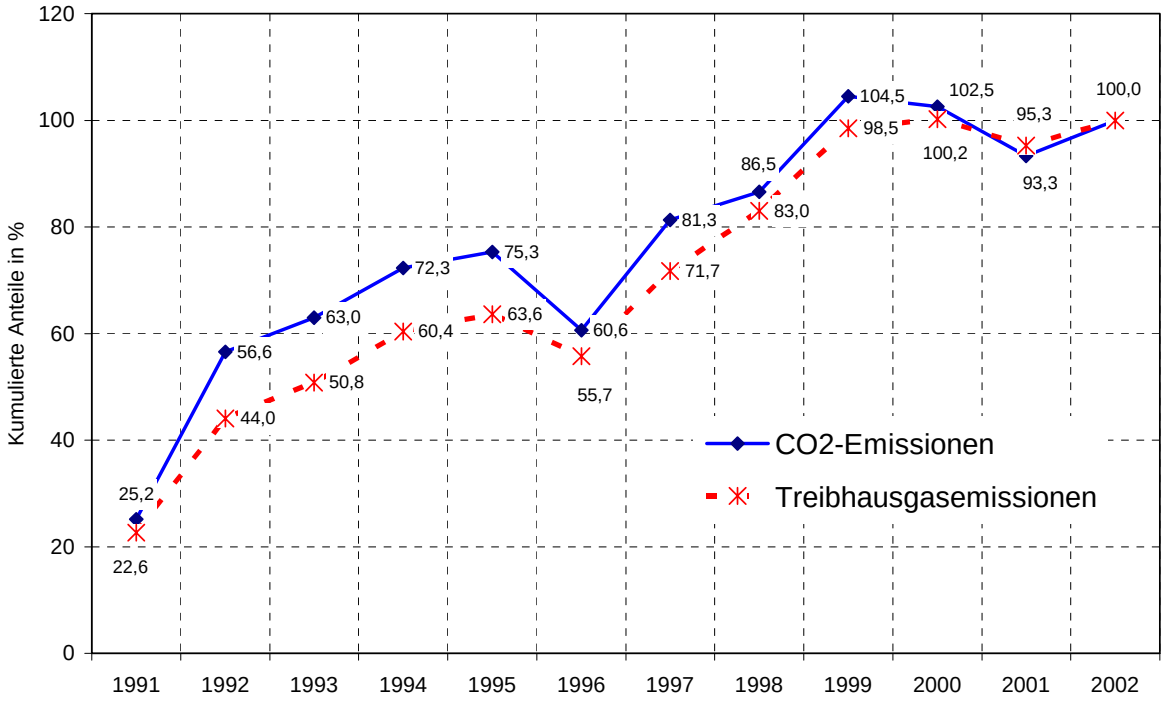
	1990	1995	2002[1)]	1990/ 2002[1)]	1990/ 1995	1995/ 2002[1)]	1990	1995	2002[1)]
	Mio. t CO_2			Veränderungen in %			Struktur der CO_2-Emissionen ohne Senken		
Emissionen insgesamt ohne Senken	1015,6	901,5	864,1	-14,9	-11,2	-4,1	100,0	100,0	100,0
Energiebedingte Emissionen[2)]	988,9	876,1	841,4	-14,9	-11,4	-4,0	97,4	97,2	97,4
dav.: Energiesektor	413,9	355,2	356,8	-13,8	-14,2	0,4	40,8	39,4	41,3
Industrie und Baugewerbe	196,3	149,9	132,0	-32,7	-23,6	-11,9	19,3	16,6	15,3
Verkehr	162,4	176,6	176,4	8,6	8,7	-0,1	16,0	19,6	20,4
Andere Sektoren	204,4	190,3	174,3	-14,8	-6,9	-8,5	20,1	21,1	20,2
Andere	11,8	4,0	1,9	-83,5	-65,9	-51,7	1,2	0,4	0,2
Industrieprozesse	26,7	25,4	22,7	-15,0	-4,8	-10,7	2,6	2,8	2,6
dav.: Mineralische Produkte	23,5	22,8	20,0	-15,1	-3,0	-12,5	2,3	2,5	2,3
Chemische Produkte	2,2	1,8	1,8	-15,7	-17,1	1,7	0,2	0,2	0,2
Metallerzeugung	1,0	0,8	0,9	-11,8	-22,3	13,6	0,1	0,1	0,1
Veränderung der Landnutzung und Forstwirtschaft (LUCV)	7,5	5,7	13,9	85,0	-24,8	146,0			
Nachr.: Internationale Bunker[3)]	19,6	20,4	24,6	25,6	4,3	20,4			
Internationaler Luftverkehr	11,6	13,9	17,0	46,6	19,8	22,3			
Hochseebunker	8,0	6,5	7,6	-4,9	-18,1	16,2			

[1)] Vorläufig.- [2)] Sektoralansatz.- [3)] Nicht in den nationalen Emissionsdaten enthalten.
Quelle: Umweltbundesamt, Nationaler Inventarbericht 2004.

Bei dieser Alles in Allem vergleichsweise günstigen Entwicklung der Treibhausgasemissionen insgesamt wie der CO_2-Emissionen im Besonderen ist jedoch nicht zu übersehen, dass sich der Rückgang in den vergangenen Jahren spürbar abgeschwächt hat. So sind rund 148 Mio. t CO_2-Äquivalente (64 %) der absoluten Minderung der Treibhausgasemissionen in der gesamten Periode von 1990 bis 2002 bereits in der ersten Hälfte der neunziger Jahre erreicht worden; von 1995 bis 2002 kam es nur noch zu einem Rückgang um knapp 85 Mio. t.

Noch deutlicher ist die Abschwächung bei der Entwicklung der CO_2-Emissionen. So sind in der ersten Hälfte der neunziger Jahre bereits drei Viertel der nicht-temperaturbereinigten CO_2-Emissionen gesunken (Abbildung 2.1-2). In absoluten Größen bedeutet dies, dass von der gesamten Reduktion in der Periode von 1990 bis 2002 in Höhe von 152 Mio. t CO_2 in der ersten Hälfte der neunziger Jahre bereits rund 114 Mio. t reduziert worden sind, während es in den sechs Jahren von 1995 bis 2002 lediglich noch etwa 37 Mio. t waren.

Abbildung 2.1-2 Verteilung der gesamten absoluten Reduktion der Treibhausgasemissionen sowie der CO_2-Emissionen von 1990 bis 2002 auf die Jahre (kumulierte Angaben)



Quellen: Umweltbundesamt, Nationaler Inventarbericht 2004; Berechnungen des DIW Berlin.

2.2 Referenzszenario der Enquete-Kommission[5] (DIW Berlin)

2.2.1 Vorbemerkungen

Wesentliche Voraussetzung, um Strategien für die nachhaltige Gestaltung der Energiewirtschaft der Zukunft entwickeln zu können, sind Vorstellungen darüber, wohin die Fortsetzung bisheriger und künftig zu erwartender Trends der demographischen, der sozialen, der technisch-ökonomischen und der politischen Einflussfaktoren langfristig führen könnte. In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurde als ein solches Referenzszenario dasjenige zugrunde gelegt, das im Auftrag der Enquete-Kommission vom IER Stuttgart erarbeitet wurde. Dieses Szenario der Enquete-Kommission entspricht im Grundsatz zwar einem „Mit-Maßnahmen-Szenario“, es ist jedoch um die von der Kommission noch nicht berücksichtigten Maßnahmen und um einige veränderte Einschätzungen (z.B. hinsichtlich der Entwicklung der Stromerzeugung aus Kernenergie oder des erwarteten Beitrags der erneuerbaren Energiequellen) zu modifizieren.

Im Folgenden sollen die Annahmen und Ergebnisse des Referenzszenarios, dessen Zeithorizont bis 2050 reicht, skizziert und anschließend kurz bewertet werden.

2.2.2 Annahmen des Referenzszenarios

Zu den Annahmen gehören vor allem solche über die langfristige Entwicklung der Bevölkerung, der gesamtwirtschaftlichen und sektoralen Produktion, der Wohnflächen, der Verkehrsleistung im Personen- und Güterverkehr sowie der Preise für importierte Energieträger:

- Die Bevölkerung Deutschlands wird von heute rund 82 Millionen zunächst verhältnismäßig wenig auf 78 Mio. Menschen im Jahr 2030, dann aber kräftig bis auf 68 Millionen Menschen im Jahr 2050 sinken (Tabelle 2.2-1).
- Im gesamten Zeitraum wird sich das reale Bruttoinlandsprodukt (BIP) etwa verdoppeln. Das bedeutet, dass sich das Bruttoinlandsprodukt pro Kopf bis 2050 auf etwa das 2,4fache steigern wird.
- Die gesamte Wohnfläche wird sich bis zum Jahr 2030 noch erhöhen und erst danach spürbar zurückgehen. Die durchschnittliche Wohnfläche pro Einwohner nimmt aber über den gesamten Zeitraum bis 2050 deutlich zu; im Vergleich zu 2000 werden es fast 50 % oder reichlich 18 m^2 mehr sein.

---

[5] Die Ausführungen in diesem Abschnitt greifen weitgehend zurück auf Kapitel 4 des Endberichts der Enquete-Kommission des 14. Deutschen Bundestages „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und Liberalisierung“, Bundestags Drucksache 14/9400

Tabelle 2.2-1 Sozioökonomische Rahmendaten für die Szenarien der Enquete-Kommission

	2000	2005	2010	2020	2030	2050
Einwohner (Mio.)	82,2	82,2	82,1	80,8	77,9	67,8
Bruttoinlandsprodukt (Mrd. Euro zu Pr. von 1995)	2023	2221	2438	2882	3286	3989
Bruttoinlandsprodukt pro Kopf (Euro zu Pr. von 1995)	24611	27019	29695	35668	42182	58835
Wohnflächen						
Ein-/Zweifamilienhäuser (Mio m²)	1880	2016	2155	2425	2493	2356
Mehrfamilienhäuser (inkl. Nichtwohngeb.) (Mio m²)	1428	1505	1578	1717	1738	1616
Wohnflächen insgesamt (Mio. m^2)	3308	3521	3733	4142	4231	3972
Wohnfläche pro Kopf (m²)	40	43	45	51	54	59
Verkehrsleistung						
Personenverkehrsleistung (Mrd Pkm)	968,1	1034,0	1090,7	1138,2	1139,1	1026,9
Güterverkehrsleistung (Mrd tkm)	483,1	544,3	607,4	732,4	839,2	964,4
Energieträgerpreise (Euro/GJ zu Pr. Von 2000)						
Erdöl	2,81	3,18	3,56	4,31	5,06	6,57
Erdgas	2,15	2,50	2,84	3,52	4,20	5,57
Steinkohle	1,36	1,40	1,43	1,59	1,76	2,09
	1998	**2005**	**2010**	**2020**	**2030**	**2050**
Arbeitsmarktdaten (in Mio.)						
Erwerbspersonenpotenzial	42,0	k.A.	42,7	41,0	36,9	34,0
Erwerbstätige	37,5	k.A.	37,6	37,2	34,9	32,2
Differenz	-4,4	k.A.	-5,0	-3,8	-2,0	-1,7
sektorale Wirtschaftsleistung (Struktur in %)						
Land- und Forstwirtschaft	1,3	k.A.	1,1	0,9	0,8	0,6
Bergbau	0,4	k.A.	0,2	0,1	0,1	0,1
Verarbeitendes Gewerbe	22,0	k.A.	21,5	21,3	20,7	19,6
Energie-und Wasserversorgung	2,2	k.A.	2,0	1,9	1,8	1,5
Baugewerbe	6,0	k.A.	5,3	4,8	4,3	3,3
Handel,Gastgewerbe,Verkehr	17,7	k.A.	18,3	18,7	19,2	19,7
Kreditinstitute,Versicherungen	5,2	k.A.	5,1	5,0	4,9	4,6
Sonstige Dienstleistungen	39,1	k.A.	41,5	43,1	44,8	48,2
Verwaltung,Verteidigung,Sozialvers.	6,3	k.A.	4,9	4,2	3,5	2,4
Insgesamt	100,0	k.A.	100,0	100,0	100,0	100,0

Quelle: Enquete-Kommission "Nachhaltige Energieversorgung ..."

- Für den gesamten Zeitraum von 2000 bis 2050 wird beim Erdöl eine jahresdurchschnittliche Preissteigerung um 1,7 %, beim Erdgas eine solche um 1,9 % und bei der Steinkohle eine Erhöhung um 0,9 % zu Grunde gelegt.
- Die Projektion geht von einer langfristigen Tertiarisierungstendenz aus. So wird der Anteil der Land- und Forstwirtschaft, des Bergbaus, des verarbeitenden Gewerbes, der Energie- und Wasserversorgung sowie des Baugewerbes deutlich abnehmen, während es vor allem im Bereich Handel, Gastgewerbe, Verkehr und bei den sonstigen Dienstleistungen zu einem überdurchschnittlich starken Wachstum kommen wird.
- Die Personenverkehrsleistung steigt bis 2030 auf etwa 1 140 Mrd. Pkm und geht danach zurück, und zwar vor allem im motorisierten Individualverkehr (MIV) (Tabelle 2.2-2).
- Die Güterverkehrsleistung wird Mitte des Jahrhunderts etwa doppelt so hoch sein wie im Jahr 2000. Der Anteil des Straßengüterfernverkehrs nimmt dabei auf fast 60 % zu, während die Anteile des Straßengüternahverkehrs sowie des Bahn- und Schiffsverkehrs abnehmen.

Tabelle 2.2-2 Annahmen zur Entwicklung der Verkehrsnachfrage im Referenzszenario der Enquete-Kommission

	1995	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Personenverkehrsleistung insgesamt (Mrd. Pkm)	927,4	968,1	1090,9	1138,2	1139,1	1099,8	1026,9
Struktur in %							
MIV	80,1	80,0	80,8	80,5	80,2	79,3	77,7
ÖSPV	8,3	7,9	7,4	7,2	7,2	7,5	8,0
Bahnen	8,1	7,7	7,0	7,0	7,2	7,6	8,1
Luftverkehr	3,5	4,4	4,8	5,3	5,4	5,7	6,2
Summe	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1990 = 100							
MIV	108,1	112,7	128,2	133,3	132,8	126,8	116,1
ÖSPV	84,0	83,5	88,4	89,5	89,7	89,8	89,9
Bahnen	121,7	121,1	123,3	129,8	133,0	134,7	135,5
Luftverkehr	173,3	225,2	280,0	320,1	330,2	335,2	337,4
Summe	107,9	112,7	126,9	132,4	132,6	128,0	119,5
Güterverkehrsleistung insgesamt (Mrd. tkm)	413,0	483,1	607,4	732,4	839,3	919,9	964,3
Struktur in %							
Straße nah	17,4	14,8	13,7	13,9	13,9	13,9	14,0
Straße fern	50,4	55,1	57,5	58,9	59,4	59,2	58,9
Bahn	16,7	16,3	15,4	14,5	14,2	14,5	14,8
Schiff	15,5	13,9	13,4	12,7	12,5	12,3	12,3
1990 = 100							
Straße nah	125,2	124,0	144,7	177,0	203,0	223,2	234,8
Straße fern	164,0	210,0	275,4	340,4	393,3	429,6	448,1
Bahn	68,9	78,4	93,2	106,0	119,0	133,1	142,3
Schiff	113,6	118,8	144,9	164,7	185,5	201,4	210,3
Summe	121,2	141,7	178,2	214,9	246,2	269,9	282,9

Quelle: Enquete-Kommission "Nachhaltige Energieversorgung ..."

Dem Referenzszenario wurden die folgenden *energie- und umweltpolitischen Vorgaben* zu Grunde gelegt (Tabelle 2.2-3):

- Von den heimischen Stein- und Braunkohlen sollen im Jahr 2010 mindestens noch 750 PJ bzw. 1 400 PJ und im Jahr 2020 rund 500 PJ bzw. 1 400 PJ eingesetzt werden; danach werden für beide heimischen Energieträger keine Vorgaben gemacht.
- Für die erneuerbaren Energiequellen werden für den gesamten Betrachtungszeitraum steigende Anteile am Nettostromverbrauch und für die Jahre bis 2020 auch Mindestanteile am Primärenergieverbrauch vorgegeben.
- Die Kernenergienutzung läuft gemäß der Vereinbarung zwischen Bundesregierung und Kernkraftwerksbetreibern sowie der entsprechenden Novelle des Atomgesetzes aus.
- Neugebaute Gebäude sollen ab 2002 der Energieeinsparverordnung entsprechen. Für die Folgejahre wird angenommen, dass diese Anforderungen in einer Fortschreibung der Energieeinsparverordnung noch weiter verschärft werden. Auch für Sanierungsmaßnahmen im Altbaubereich gelten die Vorgaben und eine Fortschreibung dieser Verordnung.
- Eine CO_2-Abscheidung und -Deponierung wird im Referenzszenario nicht berücksichtigt.

Tabelle 2.2-3 Energie- und umweltpolitische Vorgaben für das Referenzszenario der Enquete-Kommission

	2010	2020	2030	2040	2050
Reduktion der CO_2-Emissionen (Mindestveränderung gegenüber 1990)	-14%	-15%	Modellergebnis		
Erneuerbare Energiequellen					
Mindestanteil am Nettostromverbrauch	>8%	> 10%	> 15%	> 17,5%	> 20%
Mindestanteil am Primärenergieverbrauch	>3,5 %	>4,4%	keine Vorgaben		
Anteil der KWK-Stromerzeugung	> 10%	> 15%	> 16,7%	> 18,3%	>20%
Nutzung der Kernenergie	gemäß Novelle des Atomgesetzes vom 14. Dezember 2001				
Mindestnutzung von Steinkohle (PJ)	> 750	> 500	keine Vorgaben		
Mindestnutzung von Braunkohle (PJ)	> 1400	> 1400			
CO_2-Abscheidung / Deponierung	nicht zulässig				
Effizienzmaßnahmen					
Mindestanforderungen Neubau	ab 2002 gemäß EnEV	EnEV -15%	EnEV -30%		EnEV -40%
Mindestanforderungen Altbaurenovierung					EnEV -50%
Umsetzungsrate Altbau Wohngebäude	0,5%/a				
Quelle: Enquete-Kommission "Nachhaltige Energieversorgung ..."					

Zusätzliche Annahmen wurden im Hinblick auf die Kosten von Energietechnologien und über die Veränderungen der sektoralen Energieeffizienzen in den Bereichen Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und Industrie getroffen. Die wichtigsten dieser Annahmen sind:

- Grundsätzlich verbessert sich die Energieeffizienz in nahezu allen Sektoren. Beispielsweise wird sich der spezifische Endenergieverbrauch über den gesamten Betrachtungszeitraum hinweg in der Industrie jahresdurchschnittlich um 1,6 % vermindern; ähnlich stark (mit 1,7 %/a) wird der spezifische Verbrauch im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen zurückgehen. In beiden Fällen spielt auch der intrasektorale Strukturwandel eine wesentliche Rolle.

- Bei den Heizungssystemen der privaten Haushalte wird unterstellt, dass pro Jahr aus dem Altbestand maximal 2,5 % der Anlagen durch eine Anlage mit einem anderen Energieträger substituiert werden können. Die Effizienz von Haushaltsgeräten wird dem historischen Trend folgend fortgeschrieben.

- Der spezifische Flottenverbrauch der Pkw geht zu Beginn des Untersuchungszeitraums vergleichsweise stark zurück (von 2010 bis 2020 um durchschnittlich 1,5 % pro Jahr), vermindert sich aber danach nur noch vergleichsweise moderat. Demgegenüber verbessern sich die Flottenverbrauchswerte der Lkw im Zeitablauf mit leicht zunehmender Tendenz.

2.2.3 Ergebnisse des Referenzszenarios

Im Referenzszenario steigt der Endenergieverbrauch zwar zunächst noch von knapp 9 200 PJ im Jahr 2000 auf 9 705 PJ im Jahr 2010. Danach geht er aber deutlich zurück; im Jahr 2050 wird er um rund 11 % niedriger sein als 2000 (vgl. Tabelle 2.2-4).

Tabelle 2.2-4 Endenergieverbrauch im Referenzszenario der Enquete-Kommission

	1990	1995	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Endenergieverbrauch nach Sektoren in PJ								
Industrie	2977	2474	2430	2509	2508	2486	2401	2299
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	1702	1614	1472	1518	1511	1526	1494	1389
Haushalte	2383	2655	2550	2841	2865	2710	2461	2221
Verkehr	2379	2614	2745	2838	2757	2639	2485	2299
Summe	9441	9357	9197	9705	9641	9362	8842	8208
Endenergieverbrauch nach Energieträgern in PJ								
Kohlen	1546	632	487	421	393	359	350	348
Mineralölprodukte	3980	4340	4084	4164	3945	3657	3253	2761
Gase	1870	2261	2377	2687	2797	2788	2643	2429
Strom	1607	1649	1729	1843	1896	1906	1881	1816
Fern-/Nahwärme	383	366	334	343	350	348	345	368
Erneuerbare	55	109	186	248	254	289	312	334
Sonstige (Methanol, Wasserstoff)	0	0	0	0	5	16	57	152
Summe	9441	9357	9197	9705	9641	9362	8842	8208

Anmerkung: Angaben für 1990 bis 2000 nicht temperaturbereinigt; Angaben ab 2010 temperaturbereinigt. Die Modelldaten für die Jahre 2010 bis 2050 sind daher nur eingeschränkt mit den historischen Daten vergleichbar.

Quelle: Enquete-Kommission "Nachhaltige Energieversorgung ..."

Die Haushalte verbrauchen im Jahr 2050 etwa 13 % weniger Endenergie als 2000. Der Endenergieverbrauch des GHD-Sektors wird dann trotz einer weiter zunehmenden Tendenz zur Dienstleistungsgesellschaft um knapp 6 % unter dem Niveau des Jahres 2000 liegen. Mit reichlich 5 % fällt der Rückgang des industriellen Endenergieverbrauchs innerhalb des gesamten Zeitraumes kaum schwächer aus. Im Verkehrssektor nimmt der Endenergieverbrauch aufgrund der stark steigenden Verkehrsleistung noch bis 2010 zu (+3,4 % gegenüber 2000). Danach sinkt er bis 2050 um 19 %; im Vergleich zu 2000 wird damit der Verkehrssektor mit gut 16 % den deutlich stärksten Verbrauchsrückgang aufweisen. Auffällig ist die drastische Substitution von Fahrzeugen mit Ottomotoren durch Dieselfahrzeuge, so dass der Dieselkraftstoff das Benzin schon von 2010 an vom ersten Platz verdrängt und im Jahr 2050 mit weitem Abstand an der Spitze liegt. Selbst der Kerosinverbrauch im Luftverkehr wird dann noch größer sein als der Benzineinsatz. Alternative Kraftstoffe spielen auch Mitte des Jahrhunderts im Referenzszenario nur eine nachgeordnete Rolle.

Als Folge der unterschiedlichen sektoralen Entwicklungen wird sich die Energieträgerstruktur des Endenergiebedarfs im Referenzszenario erheblich verändern:

- Die *Kohlen* werden in allen Sektoren weiter an Bedeutung verlieren und im Jahr 2050 nur noch mit wenig mehr als 4 % zum Endenergieverbrauch beitragen.
- Auf Grund der Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Verkehr geht auch die Verwendung von Mineralölprodukten insgesamt deutlich zurück; ihr Anteil sinkt von 44,4 % im Jahr 2000 auf nur noch rund ein Drittel zur Mitte des Jahrhunderts.
- Dagegen können die Gase ihren Anteil von knapp 26 % (2000) bis auf rund 30 % von 2030 an ausbauen. Schon von 2020 an werden die Gase die wichtigsten Energieträger im Endenergiebereich sein.
- Die Nah- und Fernwärme kann im Referenzszenario ihren Beitrag zur Deckung der Endenergienachfrage zwar ausbauen, doch bleibt er mit weniger als 5 % auch noch im Jahr 2050 (3,6 % im Jahr 2000) nach wie vor begrenzt.
- Der Endenergieverbrauch an Strom zeigt bis 2030 zunächst einen Anstieg um 10 % gegenüber 2000, geht dann aber zurück, so dass das Stromverbrauchsniveau im Jahr 2050 um rund 5 % über demjenigen im Jahr 2000 liegt. Der Zuwachs ist hauptsächlich auf die Sektoren Industrie (z. B. durch zunehmende Automatisierung), GHD (aufgrund der wachsenden Bedeutung des Dienstleistungssektors und verstärktem Technikeinsatz in diesen Bereichen) und Verkehr mit steigenden Anteilen des Schienenverkehrs sowie dem Einsatz von Strom in alternativen Antriebskonzepten zurückzuführen. Dem steht ein langfristig rückläufiger Stromverbrauch bei den Haushalten, sowohl bei Wärmeanwendungen als auch bei Elektrogeräten, gegenüber.

Für die *künftige Struktur der Stromerzeugung* sind zum einen die Entwicklung der Stromnachfrage und zum anderen die bestehenden Kraftwerkskapazitäten sowie die sich aus ihrer Altersstruktur ergebenden Ersatzinvestitionszeitpunkte relevant. Insgesamt erhöhen sich die Kraftwerkskapazitäten von rund 115 GW im Jahr 1998 über knapp 120 GW im Jahr 2030 auf etwa 128 GW im Jahr 2050. Die installierte Leistung der Windkraftanlagen nimmt von 1998 bis 2050 um fast 25 GW zu. Deutlich gesteigert wird auch die Leistung der KWK-Anlagen. Demgegenüber gehen die Kernkraftwerke vereinbarungsgemäß nach 2020 vollständig vom

Netz, und die Heizölkraftwerke werden ebenfalls stillgelegt. Die Leistung von Kohlekraftwerken bleibt insgesamt weitgehend konstant.

Die Nettostromerzeugung steigt von rund 532 TWh im Jahr 2000 zunächst auf knapp 570 TWh im Jahr 2020. Danach sinkt sie entsprechend der rückläufigen Stromnachfrage bis auf etwa 555 TWh im Jahr 2050. Gemäß der Szenariokonstruktion ist die Kernenergie bis 2020 noch mit 14 % an der Stromerzeugung beteiligt und läuft danach aus. Im Jahr 2050 tragen Steinkohlen- und Braunkohlenkraftwerke jeweils rund 31 % zur gesamten Nettostromerzeugung bei; Erdgaskraftwerke folgen mit knapp 14 % an dritter Stelle.

Der Beitrag der erneuerbaren Energiequellen zur Nettostromerzeugung steigt gemäß den Vorgaben der Enquete-Kommission (einschließlich Stromimport). Zur Erfüllung dieser Quoten tragen im Jahr 2050 die (Onshore- und Offshore-)Windenergie 62,5 TWh, die Photovoltaik 9,1 TWh sowie die Biomassen 12,9 TWh zur Stromerzeugung bei. Schließlich erhöht auch die Wasserkraft (Laufwasser, Speicher aus natürlichem Zufluss) ihren Beitrag auf 23,9 TWh. Hinzu kommt die Nettostromerzeugung auf Basis der Geothermie im Jahr 2050 etwa 8,3 TWh.

Bei der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) wird die vorgegebene Quote im Jahr 2010 mit 14,3 % mehr als erfüllt; danach beschränkt sie sich auf die Mindestanteile. Hinsichtlich der Erzeugungsstruktur findet dabei zunehmend eine Verschiebung hin zum Erdgas sowie in stärkerem Ausmaß zu den erneuerbaren Energieträgern (insbesondere Biomasse) statt.

Im Referenzszenario kommt es nach 2010 auf Grund der Energieeffizienzverbesserungen auf der Nachfrageseite, bei der Stromerzeugung und bei den übrigen Umwandlungssektoren sowie der rückläufigen Bevölkerung zu einem deutlich sinkenden *Primärenergieverbrauch* bis auf etwa 11 370 PJ im Jahr 2050. Damit ist der Primärenergieverbrauchs zuletzt um rund 20 % niedriger als im Jahr 2000 (Tabelle 2.2-5). Zu dem sinkenden Primärenergieverbrauch trägt auch bei, dass sich einerseits der Anteil der nach der Wirkungsgradmethode bewerteten erneuerbaren Energieträger (Wirkungsgrad 100 %) deutlich ausweitet und andererseits die Kernenergie mit dem hier angesetzten Wirkungsgrad von nur 33 % auf Null zurückgefahren wird.

Die Beiträge der einzelnen Energieträger zur Deckung der Primärenergieträgernachfrage entwickeln sich im Referenzszenario sehr unterschiedlich. Die Kohlen, Gase und erneuerbaren

Energiequellen gewinnen vor allem durch die Veränderungen im Strombereich an Bedeutung. Das Mineralöl wird aber noch im Jahr 2050 mit einem Anteil von rund einem Drittel der wichtigste Primärenergieträger bleiben, gefolgt von den Naturgasen mit knapp 30 % und den Kohlen mit gut 26 %. Zusammengenommen wird sich der Beitrag der erneuerbaren Energiequellen bis 2050 auf reichlich ein Zehntel erhöhen.

Tabelle 2.2-5 Primärenergieverbrauch im Referenzszenario der Enquete-Kommission

	1990	1995	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Primärenergieverbrauch nach Energieträgern in PJ								
Steinkohle	2306	2060	1920	1691	1860	2035	1767	1559
Braunkohle	3201	1734	1547	1476	1470	1438	1438	1438
Kernenergie	1668	1682	1849	1691	912	0	0	0
Mineralöle	5238	5689	5478	5495	5206	4876	4368	3799
Naturgase	2316	2826	3025	3321	3450	3492	3447	3376
Importsaldo Strom	3	17	9	0	8	10	2	0
Wasserkraft	58	77	73	84	89	91	92	92
Windenergie	0	6	33	74	96	183	208	225
Biomasse, Müll	126	169	233	432	472	511	542	574
Solar, Umgebung	0	9	13	33	57	90	168	310
Summe	14916	14269	14180	14298	13621	12725	12030	11372
Primärenergieverbrauch nach Energieträgern in %								
Steinkohle	15,5	14,4	13,5	11,8	13,7	16,0	14,7	13,7
Braunkohle	21,5	12,2	10,9	10,3	10,8	11,3	12,0	12,6
Kernenergie	11,2	11,8	13,0	11,8	6,7	0,0	0,0	0,0
Mineralöle	35,1	39,9	38,6	38,4	38,2	38,3	36,3	33,4
Naturgase	15,5	19,8	21,3	23,2	25,3	27,4	28,7	29,7
Importsaldo Strom	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0
Wasserkraft	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8
Windenergie	0,0	0,0	0,2	0,5	0,7	1,4	1,7	2,0
Biomasse, Müll	0,8	1,2	1,6	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
Solar, Umgebung	0,0	0,1	0,1	0,2	0,4	0,7	1,4	2,7
Summe	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Anmerkung: Angaben für 1990 bis 2000 nicht temperaturbereinigt; Angaben ab 2010 temperaturbereinigt. Die Modelldaten für die Jahre 2010 bis 2050 sind daher nur eingeschränkt mit den historischen Daten vergleichbar.

Quelle: Enquete-Kommission "Nachhaltige Energieversorgung ..."

Bei den *CO_2-Emissionen* wie bei den Treibhausgasemissionen insgesamt kommt es von 1990 bis 2050 zu einer Reduktion um größenordnungsmäßig jeweils 30 % (Tabelle 2.2-6). Stark rückläufig werden die Emissionen von CH_4 (-87 %) sein, während die Minderung bei den N_2O-Emissionen mit 14 % vergleichsweise schwach ausfällt.

Die relative Emissionsminderung in der Periode von 1990 bis 2050 ist besonders stark in der Industrie (-48 %) sowie in dem zusammengefassten Bereich Haushalte, Gewerbe, Handel,

Dienstleistungen (-36 bzw. 37 %). Am schwächsten ist der Rückgang im Verkehr, dessen Emissionen das 1990er-Niveau bis zum Jahr 2030 sogar noch spürbar überschreiten.

An den absoluten THG-Emissionsreduktionen von 1990 bis 2050 von rund 320 Mio. t CO_2-Äquivalent ist der Energiesektor mit 130 Mio. t oder rund 40 % beteiligt. Es folgen die Industrie sowie der zusammengefasste Bereich Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen mit jeweils rund 82 Mio. t oder reichlich einem Viertel. Der Beitrag des Verkehrssektors beträgt demgegenüber lediglich 26 Mio. t oder gut 8 %.

Tabelle 2.2-6 Entwicklung der CO_2- und Treibhausgasemissionen im Referenzszenario der Enquete-Kommission

	1990	1995	1998	2010	2020	2030	2050
Energiebedingte CO_2-Emissionen				Mio. t			
Energiegewinnung, -umwandlung	440,5	379,4	367,5	337,6	355,9	367,4	339,3
Industrie	169,7	127,1	118,4	112,7	107,8	101,4	88,4
Haushalte, GHD	218,7	197,5	198,6	186,0	184,9	176,8	139,8
Verkehr	158,0	172,6	176,7	188,3	181,0	170,3	133,4
Summe	986,8	876,5	861,1	824,6	829,6	815,9	700,8
				1990 = 100			
Energiegewinnung, -umwandlung	100	86	83	77	81	83	77
Industrie	100	75	70	66	64	60	52
Haushalte, GHD	100	90	91	85	85	81	64
Verkehr	100	109	112	119	115	108	84
Summe	100	89	87	84	84	83	71
Energiebedingte THG-Emissionen[1)]				Mio. t CO_2-Äquivalente			
Energiegewinnung, -umwandlung	477,8	408,6	395,7	360,7	375,1	378,1	348,3
Industrie	171,8	128,5	119,9	113,9	109,0	102,7	89,6
Haushalte, GHD	223,4	200,4	201,3	188,1	187,0	178,8	141,4
Verkehr	162,5	178,8	182,8	192,6	184,9	173,9	136,2
Summe	1035,6	916,3	899,6	855,3	856,0	833,5	715,5
				1990 = 100			
Energiegewinnung, -umwandlung	100	86	83	75	78	79	73
Industrie	100	75	70	66	63	60	52
Haushalte, GHD	100	90	90	84	84	80	63
Verkehr	100	110	113	119	114	107	84
Summe	100	88	87	83	83	80	69

[1)] THG = Treibhausgasemissionen

Anmerkung: Angaben für 1990 bis 2000 nicht temperaturbereinigt; Angaben ab 2010 temperaturbereinigt. Die Modelldaten für die Jahre 2010 bis 2050 sind daher nur eingeschränkt mit den historischen Daten vergleichbar.

Quelle: Enquete-Kommission "Nachhaltige Energieversorgung ..."

2.2.4 Bewertung des Referenzszenarios

Das Referenzszenario schreibt die bisherige Politik sowie die Verhaltensweisen der Verbraucher fort. Dabei werden die Ergebnisse - außer von den selbst gesetzten Vorgaben der Enquete-Kommission - entscheidend von den Annahmen über die künftige demographische und ökonomische Entwicklung geprägt.

In der Enquete-Kommission selbst wurde sowohl der starke Bevölkerungsrückgang als auch die unterstellte kräftige gesamtwirtschaftliche Expansion kontrovers diskutiert. Angesichts offener Grenzen und der vermutlich zunehmenden Erweiterung der Europäischen Union könnten sich andere Wanderungsbewegungen herausbilden, die einer derart stark sinkenden Einwohnerzahl entgegenstehen würden. Auch wird bezweifelt, dass bei der unterstellten rückläufigen Bevölkerungsentwicklung ein Wirtschaftswachstum in der angenommenen Größenordnung eintreten würde.

Eine Vorgabe für das Referenzszenario war die Gültigkeit des Gesetzes zur Beendigung der Kernenergienutzung, das eine nur in engen Grenzen variierbare Abgangsordnung der Kernkraftwerksleistung beinhaltet. Kritisch wurde darauf hingewiesen, dass die von den Studiennehmern angenommene Entwicklung der Kernkraftwerksleistung, bei der sich noch im Jahre 2020 mit 10,6 GW nahezu die Hälfte der heutigen Kapazitäten in Betrieb befindet, nicht vereinbar mit dem „Atomkompromiss“ ist.

Deshalb wird in der vorliegenden Untersuchung von einem schnelleren Auslaufen der Kernenergienutzung ausgegangen und für 2020 lediglich mit einer Kernkraftwerkskapazität in einer Größenordnung von 7,8 GW gerechnet. Unter dieser Voraussetzung würde aus Kernenergie eine um rund 22 Mrd. kWh geringere Nettostromerzeugung erbracht. Wenn im wesentlichen fossil gefeuerte Kraftwerke diese Stromerzeugung übernehmen werden, würde dies unter der Annahme von spezifischen CO_2-Emissionen in Höhe von 700 g CO_2 je kWh im Jahr 2020 zusätzliche CO_2-Emissionen von nahezu 16 Mio. t bedeuten.

Im Referenzszenario kommt es zu einer zunehmend effizienteren Energieverwendung und Energiebereitstellung. Dies ist nicht nur mit den strukturellen Veränderungen zugunsten von weniger energieintensiven Bereichen zu erklären, sondern auch damit, dass in nahezu allen Segmenten mit stark rückläufigen spezifischen Verbrauchswerten gerechnet worden ist, die das aus der Vergangenheit bekannte Ausmaß teilweise deutlich übertreffen. Insgesamt erscheint dadurch sowie durch die Annahmen zur Bevölkerungsentwicklung und zur Kernener-

gie die im Referenzszenario aufgezeigte Entwicklung der Treibhausgasemissionen als eher optimistisch.

Dennoch werden sämtliche Emissionsreduktionsziele verfehlt. Das gilt für das nationale Ziele, die CO_2-Emissionen bis 2005 um 25 % gegenüber 1990 zu reduzieren, ebenso wie für die von der Enquete-Kommission für 2020 und 2050 genannten Ziele einer Emissionsminderung um 40 % bzw. 80 %. Vergleichsweise nahe am Ziel liegt das Referenzszenario jedoch bei der von Deutschland im Rahmen des europäischen "burden sharing" eingegangenen Verpflichtung, die Treibhausgasemissionen bis 2008/2010 im Vergleich zum Basisjahr/1990 um 21 % zu senken; von diesem Ziel ist das Referenzszenario für 2010 gegenüber den nicht-temperaturbereinigten Werten für 1990 um 37 Mio. t oder um 4,5 % entfernt. Bei einem vergleich mit den geschätzten temperaturbereinigten Werten für 1990 ergibt sich eine „Deckungslücke“ von annähernd 20 Mio. t oder rund 2,5 %.

Das insbesondere langfristig zu erwartende Ausmaß der Zielverfehlung macht den beträchtlichen energie- und umweltpolitischen Handlungsbedarf deutlich.

2.3 Vergleich aktueller Projektionen und Szenarien der CO_2-Emissionen in Deutschland (Öko-Institut)

2.3.1 Einleitung

In jüngster Zeit sind eine Reihe von Arbeiten entstanden, in denen langfristige Projektionen für Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen (überwiegend CO_2) entwickelt worden sind. In den nachfolgenden Analysen wird eine Auswahl dieser Arbeiten einem Vergleich unterzogen. Das wesentliche Auswahlkriterium für die hier berücksichtigten Arbeiten war ein langfristiger Analysehorizont, der sich mindestens auf das Jahr 2020 erstrecken sollte.[6]

Zu den untersuchten Projektionen gehören auf der einen Seite *Referenzprojektionen*, die im wesentlichen eine Weiterführung der bisher beschlossenen Politiken unterstellen („policy as usual“) und die damit ein gewisses prognostisches Element beinhalten. Berücksichtigt wurden

- der Energiereport von Prognos/EWI (1999),
- der EU Energy Outlook aus den Jahren 1999 und 2003 (E3M-Lab 1999 + 2003),
- das Referenzszenario der Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“ des 14. Deutschen Bundestages (EK 2002) sowie
- die Esso Energieprognose 2001 (Esso 2001).

Zur Illustration wurde für den Verkehr weiterhin die MWV-Prognose 2002 herangezogen (MWV 2002). Auf der anderen Seite wurde eine Reihe von langfristigen Klimaschutzszenarien untersucht, für die *ambitionierte Klimaschutzziele* vorgegeben wurden. Dazu gehören

- die Nachhaltigkeitsszenarien der Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“ des 14. Deutsachen Bundestages (EK 2002) sowie
- das sogenannte Nachhaltigkeits-Szenario aus dem UBA-Projekt „Langfristszenarien für eine nachhaltige Energienutzung in Deutschland“ (WI/DLR 2002).

Die Nachhaltigkeitsszenarien der Enquete-Kommission haben dabei sowohl hinsichtlich der Szenarienansätze als auch in Bezug auf methodische Aspekte unterschiedliche Ausprägungen:

- Die Szenarienfamilie UWE (Umwandlungseffizienz) ist durch einen besonderen Fokus auf den Umwandlungssektor gekennzeichnet, insbesondere wird die Abtrennung und Einlagerung von CO_2 zugelassen.

---

[6] Aus diesem Grunde wurden andere aktuelle Arbeiten wie die von Meyer (2002) nicht in den Vergleich einbezogen.

- Die Szenarienfamilie RRO (REG/REN-Offensive) ist durch verstärkte Effizienzsteigerungen in den Endverbrauchsbereichen sowie durch hohe Anteile regenerativer Energien gekennzeichnet. In einer Szenarienvariante wird für diese Gruppe auch die regenerative Vollversorgung untersucht.
- Die Szenarienfamilie FNE (Fossil-nuklearer Energiemix) ist im Gegensatz zu den anderen Szenarienfamilien vor allem dadurch gekennzeichnet, dass der – massive – Ersatz- und Zubau von Kernkraftwerken zugelassen wird.

Alle drei Szenarienfamilien wurden mit zwei unterschiedlichen methodischen Ansätzen analysiert. Das Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung der Universität Stuttgart (IER) modellierte die Szenarien mit einem linearen Optimierungsmodell, das Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (WI) bildete die Szenarien mit einem Simulationsmodell ab.[7]

Die im Auftrag des UBA erstellten Langfristszenarien von WI/DLR (2002) folgen aus methodischer Sicht ebenfalls einem Simulationsansatz, wobei hier – aus Gründen der Datenverfügbarkeit – nur das so genannte Nachhaltigkeitsszenario berücksichtigt wird.

Die Rahmendaten der hier dargestellten Projektionen sind relativ ähnlich und gut vergleichbar. Eine der wesentlichen Annahmen betrifft dabei die demographische Entwicklung. Während bis um Jahr 2010 eine relativ konstante Bevölkerungsentwicklung unterstellt wird, geht diese bis 2020 von ca. 82 auf 80 Mio. Einwohner zurück. In der weiteren Entwicklung wird dann bis zum Jahr 2050 ein Rückgang der Bevölkerung auf knapp 68 Mio. Einwohner angenommen. Hinsichtlich der Wirtschaftsleistung wird ein jährliches Wachstum des (realen) Bruttoinlandsprodukts je Einwohner in der Bandbreite von 1,7 bis 1,9 Prozent jährlich angenommen, wobei sich der Anteil des Dienstleistungssektors von derzeit ca. zwei Dritteln bis zum Jahr 2050 auf etwa drei Viertel ausweiten soll.[8]

Gerade aus der unterstellten demographischen Entwicklung resultieren vor allem für den Zeitraum ab 2020 erheblich veränderte Rahmenbedingungen, wenn auch wichtige Determinanten für den Energieverbrauch bzw. die CO_2-Emissionen der privaten Haushalte wie z.B. die Wohnflächenentwicklung wegen der noch wachsenden Flächenausstattung der demographischen Trendwende erst mit Verzögerung folgen (ca. ab 2040).

---

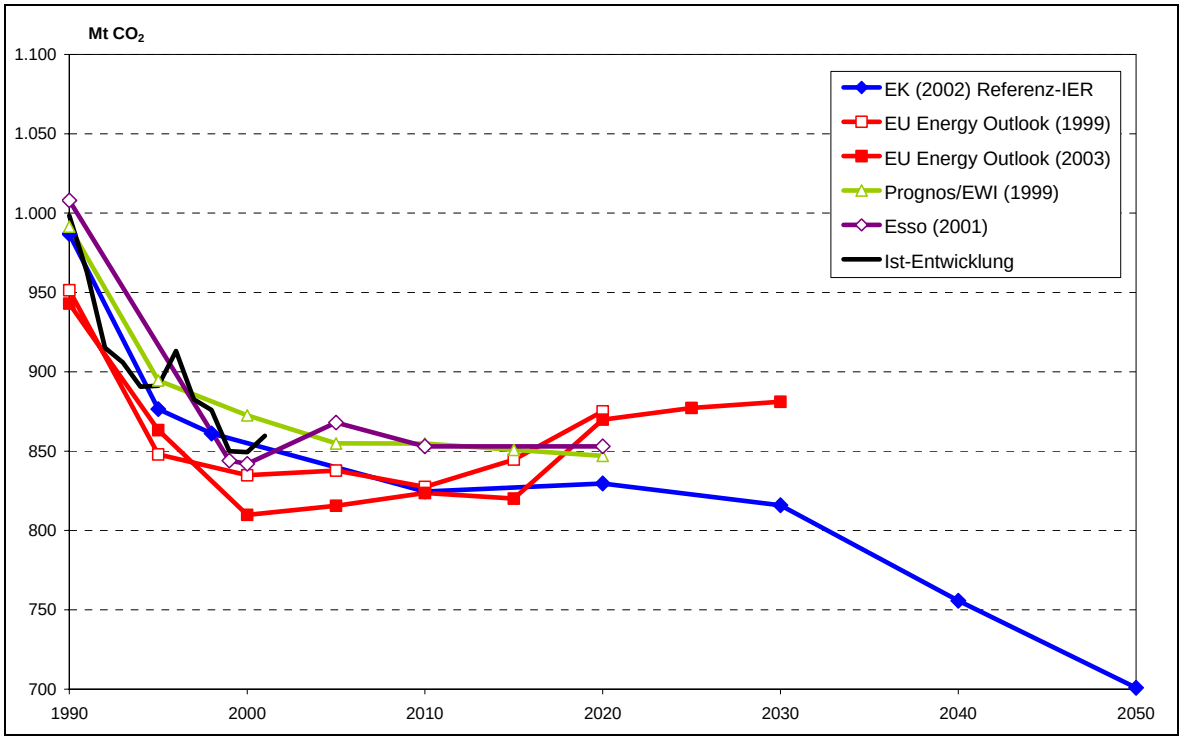
[7] Zu den Details hierzu vergleiche Prognos/IER/WI (2002).

[8] Zu den Annahmen im Einzelnen vgl. EK (2002) sowie Prognos/IER/WI (2002).

2.3.2 Referenz-Projektionen

Die Abbildung 2.3-1 zeigt die *gesamten energiebedingten CO_2-Emissionen* für die hier analysierten Referenzprojektionen im Vergleich.

Abbildung 2.3-1 Vergleich der energiebedingten CO_2-Emissionen in verschiedenen Referenzprojektionen



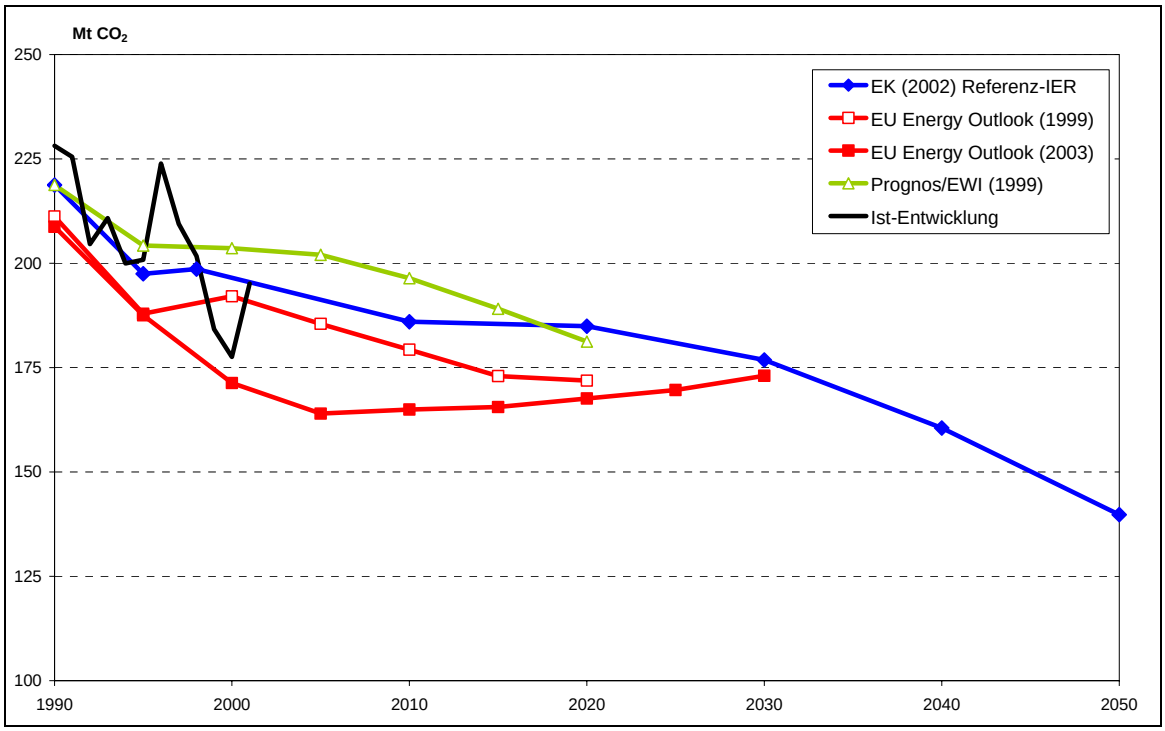
Quellen: EK (2002), E3M-Lab (1999 + 2003), Prognos/EWI (1999), Esso (2001), Inventardaten des UBA, Berechnungen des Öko-Instituts

Wenn auch die Ausgangswerte für die CO_2-Emissionen im Basisjahr aus unterschiedlichen Gründen (Abgrenzung, Emissionsfaktoren) um ca. 50 Mio. t CO_2 differieren, zeigen die Emissionstrends eine vergleichsweise gute Übereinstimmung. Durchweg wird angenommen, dass der Rückgang der CO_2-Emissionen in der Periode 2000/2005 endet und eine Stabilisierungsphase eintritt. Während im EU Energy Outlook ab 2010 wieder (bis auf ca. 880 Mio. t) steigende CO_2-Emissionen unterstellt werden, gehen die anderen Referenzprojektionen von einem anhaltend stabilen Emissionsniveau von ca. 830 bis 850 Mio. t CO_2 aus. In der Referenzprojektion der Enquete-Kommission ist die Entwicklung der CO_2-Emissionen – bedingt vor allem durch die demographische Entwicklung – nach 2020 durch den Übergang von der Stabilisierungsphase in eine Phase weiter zurückgehender Emissionen gekennzeichnet. Zum Ende des Projektionszeitraums ergibt sich dann ein Emissionsniveau von ca. 700 Mio. t CO_2; dies entspricht einem Rückgang von ca. 30% gegenüber dem Ausgangsjahr 1990.

In der Tendenz folgt auch die Entwicklung der (direkten) CO_2-Emissionen in den verschiedenen Sektoren vergleichbaren Mustern.

Für die CO_2-Emissionen der Sektoren *Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen* (Abbildung 2.3-2) lassen sich im Vergleich der verschiedenen Projektionen zwei leicht unterschiedliche Entwicklungstrends ausmachen.

Abbildung 2.3-2 Vergleich der CO_2-Emissionen für verschiedene Referenzprojektionen in den Sektoren Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen

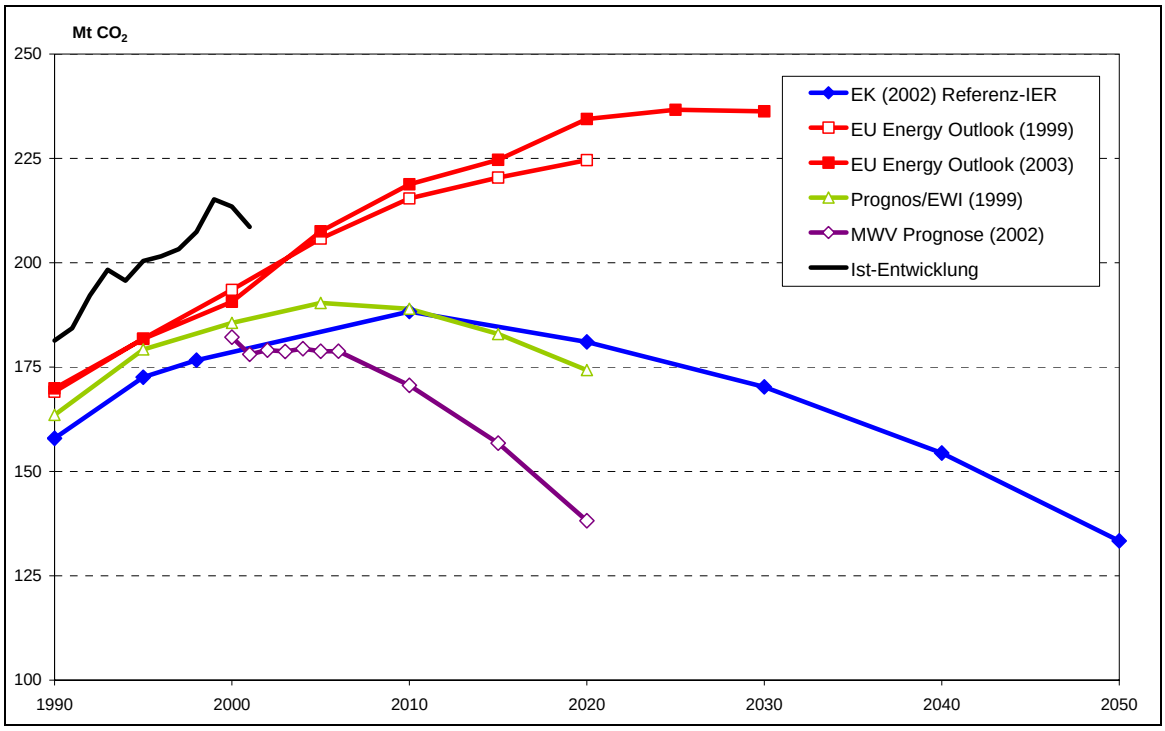


Quellen: EK (2002), E3M-Lab (1999 + 2003), Prognos/EWI (1999), Inventardaten des UBA, Berechnungen des Öko-Instituts

Prognos/EWI (1999) gehen davon aus, dass bis zur Mitte der ersten Dekade dieses Jahrhunderts eine Periode der Stabilisierung bzw. nur noch leichten Emissionsrückgangs folgt, die ab 2005 durch eine Phase stärker abnehmender Emissionsniveaus abgelöst wird. Das Referenzszenario der Enquete-Kommission wie auch der EU Energy Outlook sehen dagegen bis 2010 einen stärkeren Emissionsrückgang, danach eine Stabilisierung auf einem Niveau von ca. 180 Mio. t CO_2 (unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Ausgangsniveaus und der Inventardaten gilt dies für beide Projektionen). Langfristig folgt dann – im Referenzszenario der Enquete-Kommission – ein weiterer Rückgang der CO_2-Emissionen auf ein Niveau von ca. 140 Mio. t CO_2 – bei anhaltend rückläufigem Trend.

Erhebliche Abweichungen ergeben sich dagegen für die erwarteten Entwicklungen im *Verkehrssektor* (Abbildung 2.3-3). Bis auf den EU Energy Outlook gehen jedoch alle Referenzprojektionen spätestens ab 2010 von sinkenden CO_2-Emissionen des Verkehrssektors aus, wobei sich die Dynamik des Emissionsrückgangs teilweise erheblich unterscheidet. Eine vergleichsweise extreme – und umstrittene – Variante markiert dabei die MWV-Mineralölprognose 2002, nach der bereits ab 2005 ein massiver Emissionsrückgang einsetzt. In den Projektionen von Prognos/EWI (1999) erfolgt bis 2020 nur ein leichter Rückgang, der im Referenzszenario der Enquete-Kommission – entsprechend der demographischen Entwicklung – in einen nahezu linear abnehmenden Trend übergeht. Das Maximum der Verkehrs-Emissionen soll danach – mit Ausnahme des EU Energy Outlook – bei einem Niveau von ca. 180 bis 190 Mio. t CO_2 erreicht werden.

Abbildung 2.3-3 Vergleich der CO_2-Emissionen für verschiedene Referenzprojektionen im Sektor Verkehr

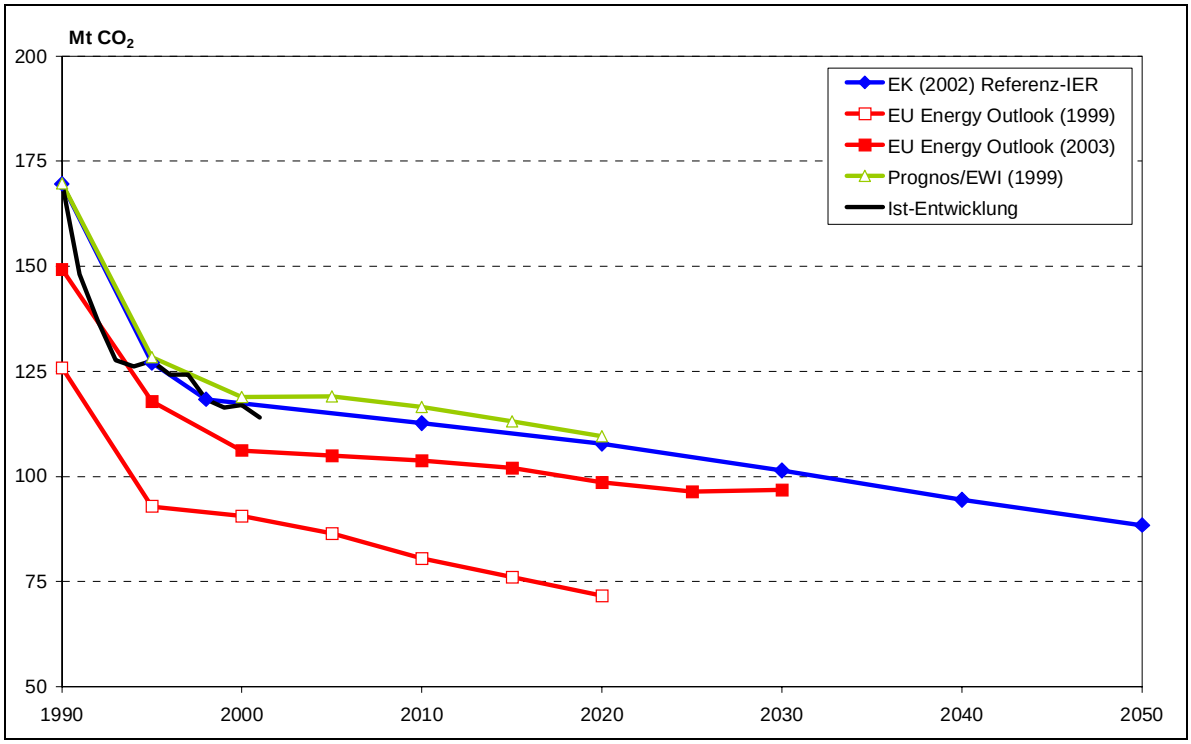


Quellen: EK (2002), E3M-Lab (1999 + 2003), Prognos/EWI (1999), MWV (2002), Inventardaten des UBA, Berechnungen des Öko-Instituts

Unter Berücksichtigung der Abweichungen der Ausgangsdaten für das Basisjahr 1990 (sowie teilweise für die neunziger Jahre) ergeben sich für den Sektor *„Übriger Bergbau und verarbeitendes Gewerbe“* in allen hier betrachteten Referenzprojektion weitgehend gleichlaufende Emissionsverläufe (Abbildung 2.3-4). Die starken Emissionsminderungen in den neunziger

Jahren gehen danach in eine Phase mit weitaus geringeren, jedoch stetigen Minderungsraten über, die sich über die nächsten Dekaden kaum noch verändern. Das Emissionsniveau in der Periode 2010/20 liegt danach bei ca. 110 Mio. t CO_2, dies entspricht im Vergleich zu 1990 einem Rückgang von etwa 35%. Bis zum Jahr 2050 unterstellt das Referenzszenario der Enquete-Kommission dann einen Rückgang um fast die Hälfte der Emissionen von 1990.

Abbildung 2.3-4 Vergleich der energiebedingten CO_2-Emissionen für verschiedene Referenzprojektionen in den Sektoren Übrigen Bergbau und Verarbeitendes Gewerbe

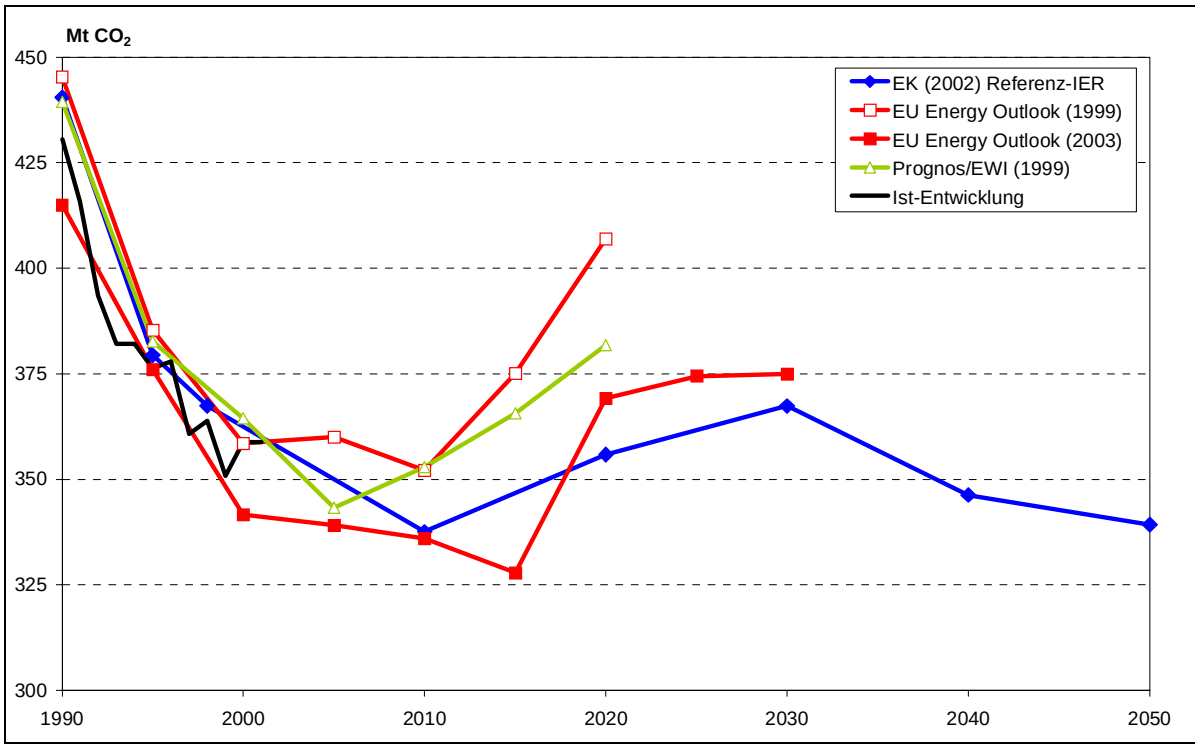


Quellen: EK (2002), E3M-Lab (1999 + 2003), Prognos/EWI (1999), Inventardaten des UBA, Berechnungen des Öko-Instituts

Die Emissionstrends im *Umwandlungssektor* werden vor allem durch die Veränderungen des Kraftwerksparks in Deutschland geprägt. Hierbei ist das Auslaufen der Kernenergie eine wesentliche Bestimmungsgröße. Alle Referenzprojektionen unterstellen für den Zeithorizont bis 2005/10 einen weiteren Rückgang der CO_2-Emissionen im Umwandlungssektor, darauf folgt dann eine Phase wieder steigender Emissionen, die jedoch in den verschiedenen Arbeiten unterschiedlich stark ausgeprägt ist (Abbildung 2.3-5). Während Prognos/EWI (1999) von einem Anstieg der Emissionen bis 2020 auf ca. 380 Mio. t ausgehen, unterstellt der EU Energy Outlook ein weitaus stärkeres Emissionswachstum – unter Berücksichtigung der Niveauunterschiede im Basisjahr - auf ein Niveau von über 400 Mio. t CO_2 bis zum Jahr 2020. Die Refe-

renzprojektion der Enquete-Kommission weist im Ergebnis den geringsten Anstieg der Emissionen auf; erst nach 2030 folgt dann – wiederum überwiegend demographisch bedingt – eine Phase wieder zurückgehender Emissionen.

Abbildung 2.3-5 Vergleich der energiebedingten CO_2-Emissionen für verschiedene Referenzprojektionen im Umwandlungssektor



Quellen: EK (2002), E3M-Lab (1999 + 2003), Prognos/EWI (1999), Inventardaten des UBA, Berechnungen des Öko-Instituts

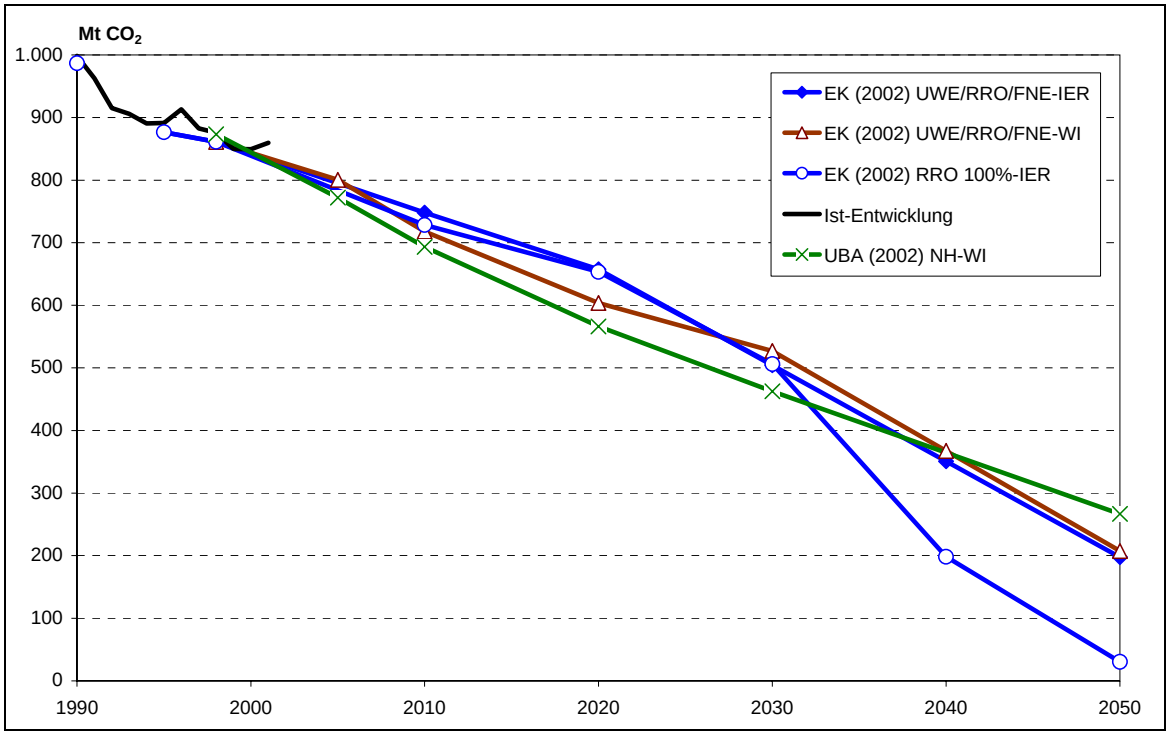
2.3.3 Klimaschutz-Szenarien

Die Emissions-Obergrenzen für die verschiedenen Klimaschutz-Szenarien liegen in einem vergleichsweise schmalen Band (Abbildung 2.3-6). Für das Jahr 2010 werden Emissionsminderungen von 25 bis 30 % unter dem Niveau von 1990 vorgegeben. Diese Minderungsvorgaben erhöhen sich bis 2020 auf 35 bis 40 %, für das Jahr 2050 wird in den Szenarien der Enquete-Kommission eine Reduktion um 80 % vorgegeben; aus der Vorgabe der Variante einer regenerativen Vollversorgung folgt sogar eine Emissionsminderung von über 95 %. Für den Zeithorizont 2030 ergibt sich ein Emissionsniveau von ca. 50 % des Ausgangswertes von 1990.

In der sektoralen Analyse ergeben sich signifikante Unterschiede sowohl hinsichtlich der Szenarienausprägung wie auch der Modellierungsansätze.

Im Optimierungsmodell des IER ergeben sich für alle Szenarienfamilien der Enquete-Kommission in der Periode bis 2020 deutlich höhere, aber auch nahezu identische CO_2-Emissionen für die Sektoren *Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen* als im Simulationsmodell des WI, bei dem bis 2020 nur leichte Unterschiede für die unterschiedlichen Szenarienausprägungen entstehen (Abbildung 2.3-7). Angesichts der sehr ambitionierten Minderungsvorgaben fächern sich Minderungspfade für diese Sektoren ab 2030 dann signifikant auf, die Bandbreite beträgt schließlich im Jahr 2050 ca. 75 Mio. t CO_2!

Abbildung 2.3-6 Vergleich der gesamten energiebedingten CO_2-Emissionen in verschiedenen Klimaschutz-Szenarien

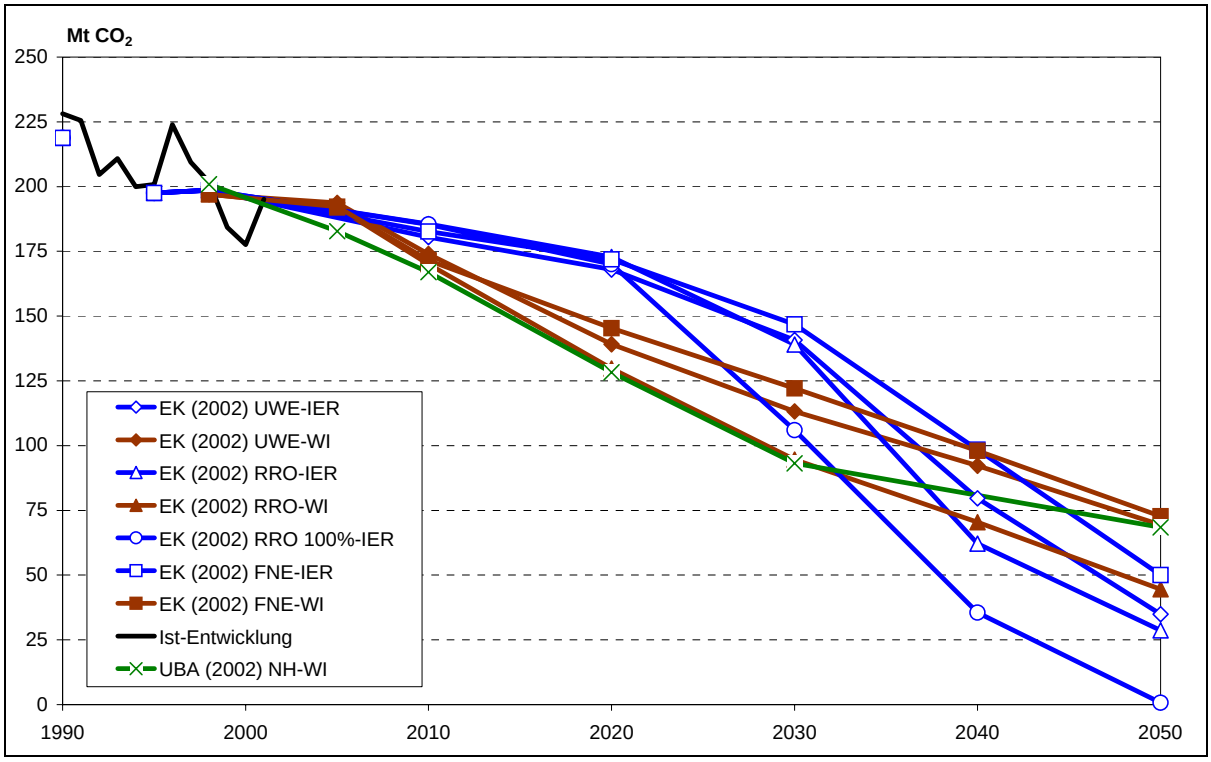


Quellen: EK (2002), WI/DLR (2002), Inventardaten des UBA, Berechnungen des Öko-Instituts

Hervorzuheben bleibt schließlich der nahezu lineare Entwicklungstrend in den Projektionen des WI sowie die erst relativ spät einsetzenden starken Emissionsrückgänge im Optimierungsmodell des IER. Naturgemäß liegen die Emissionsminderungen für die (direkten) Emissionen dieser Sektoren in der Szenarienfamilie RRO am höchsten, stehen doch die „großen“ Minderungsoptionen CO_2-Abscheidung und –Endlagerung bzw. Kernenergie für den Umwandlungssektor hier nicht zur Verfügung und müssen über alle Sektoren durchgängig erhebliche Minderungen erbracht werden. Das UBA-Nachhaltigkeitsszenario folgt bis zum Jahr 2030 deckungsgleich dem RRO-Szenario in der Simulation des WI, die Minderungskurve flacht dann aber deutlich ab und erreicht die Emissionswerte der Szenarien UWE bzw. FNE.

Die Bandbreite der Emissionen im Jahr 2050 liegt – sieht man zunächst vom regenerativen Vollversorgungsszenario der Enquete-Kommission ab – bei ca. 25 bis 75 Mio. t CO_2, dies entspricht einer Minderung von zwei Dritteln bis 90 % im Vergleich zum Ausgangsniveau von 1990. Im Szenario für die regenerative Vollversorgung gehen die CO_2-Emissionen definitionsgemäß auf nahezu Null zurück.

Abbildung 2.3-7 Vergleich der CO_2-Emissionen für verschiedene Klimaschutz-Szenarien in den Sektoren Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen

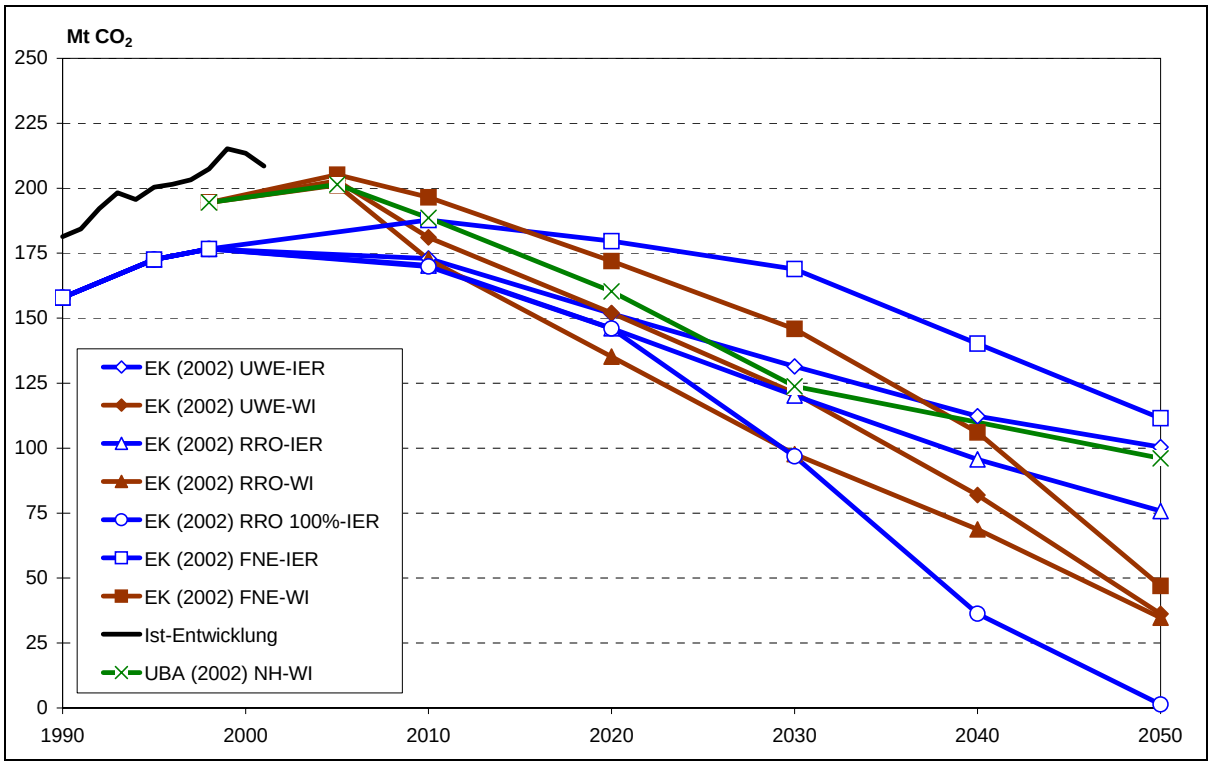


Quellen: EK (2002), WI/DLR (2002), Inventardaten des UBA, Berechnungen des Öko-Instituts

Eine erhebliche Bandbreite und gleichzeitig eine deutlich weniger stark polarisierte Verteilung nach Projektionsmethoden zeigen die Entwicklungen im *Verkehrssektor*. Bereits für den Zeithorizont 2010 ergeben sich für die verschiedenen Szenarienausprägungen Unterschiede von ca. 20 bis 25 Mio. t CO_2. Mit jeder Dekade nimmt diese Bandbreite um fast 25 Mio. t CO_2 zu, wobei die Modell- und Pfadausprägungen weitgehend unverändert bleiben.

Für das Jahr 2050 ergeben sich jeweils für die verschiedenen Modelle Emissionsunterschiede von ca. 25 bis 30 Mio. t CO_2. Eine Sonderstellung nimmt natürlich auch hier wieder das regenerative Vollversorgungsszenario ein (Abbildung 2.3-8).

Abbildung 2.3-8 Vergleich der CO_2-Emissionen für verschiedene Klimaschutz-Szenarien im Verkehrssektor

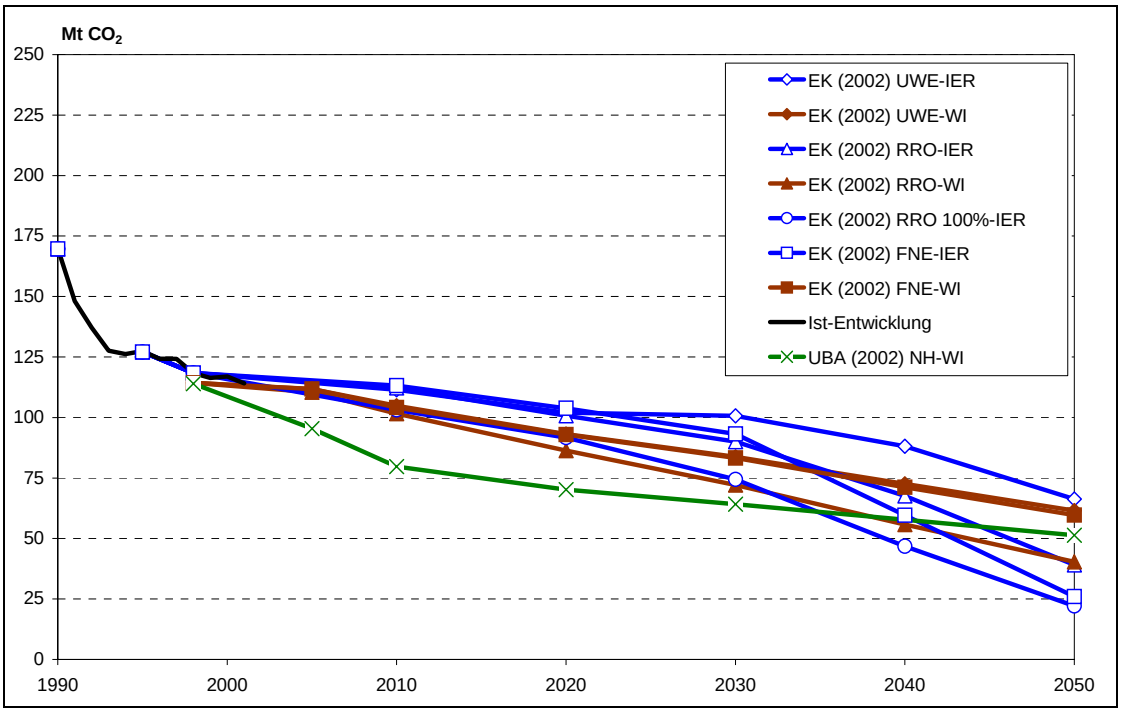


Quellen: EK (2002), WI/DLR (2002), Inventardaten des UBA, Berechnungen des Öko-Instituts

Wie bereits in den Referenzszenarien liegen auch die Ergebnisse der verschiedenen Szenarienausprägungen für die Sektoren *„Übriger Bergbau und verarbeitendes Gewerbe“* in einem vergleichsweise engen Band. Im Jahr 2010 liegen die Unterschiede (sowohl hinsichtlich Szenarienfamilie als auch methodischem Ansatz) nur bei ca. 10 Mio. t CO_2; bis zum Jahr 2050 vergrößern sie sich nur auf 25 bis 30 Mio. t. Einzig das UBA-Nachhaltigkeitsszenario zeigt ein abweichendes Verlaufsmuster. Starke Emissionsminderungen in der Industrie werden hier bereits in der Periode bis 2010 realisiert, danach flacht die Minderungsdynamik erheblich ab. Im Jahr 2050 liegt das Emissionsniveau hier im Mittel der anderen Klimaschutz-Szenarien (Abbildung 2.3-9). Im Vergleich mit dem Basisjahr 1990 betragen die Emissionsminderungen hier in den verschiedenen Szenarien- und Modellausprägungen zwischen 60 und 85 Prozent.

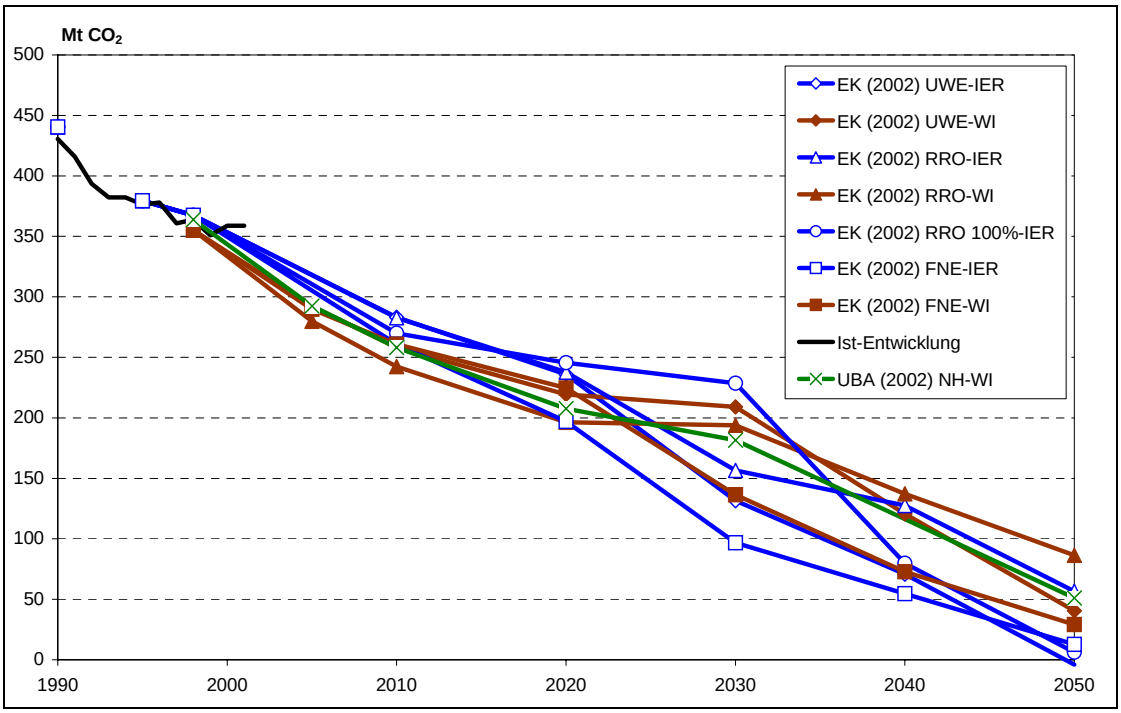
In einem erstaunlich engen Band liegen – abgesehen von 2030 - die Emissionen des *Umwandlungssektors*, auch wenn die Minderungen durch sehr unterschiedliche Maßnahmen erbracht werden (Abbildung 2.3-10).

Abbildung 2.3-9 Vergleich der energiebedingten CO_2-Emissionen für verschiedene Klimaschutz-Szenarien in den Sektoren Übriger Bergbau und verarbeitendes Gewerbe



Quellen: EK (2002), WI/DLR (2002), Inventardaten des UBA, Berechnungen des Öko-Instituts

Abbildung 2.3-10 Vergleich der energiebedingten CO_2-Emissionen für verschiedene Klimaschutz-Szenarien im Umwandlungssektor



Quellen: EK (2002), WI/DLR (2002), Inventardaten des UBA, Berechnungen des Öko-Instituts

Während in den UWE-Szenarien nach 2030 die CO_2-Abscheidung und –-Endlagerung (in allerdings wohl eher unrealistischem Umfang) zum Einsatz kommt, erfolgt in der Szenarienfamilie FNE ein massiver Ausbau der Kernenergie und bei den RRO-Szenarien eine starke Ausweitung der regenerativen Stromerzeugung. Gemeinsam ist den Szenarien jedoch, dass die Emissionen für diesen Sektor mit dem höchsten Ausgangsniveau bis zum Jahr 2020 um etwa 45 bis 55 % unter das Niveau von 1990 gesenkt werden müssen, um die ambitionierten Klimaschutz-Zwischenziele umsetzen zu können. Bis zum Jahr 2050 liegen die Minderungsanforderungen hier bei über 90 %.

2.3.4 Zusammenfassung

Im Vergleich verschiedener Szenarioausprägungen und verschiedener Modellierungsansätze ergeben sich aus einer sektoral detaillierten Analyse erhebliche Unterschiede. Während die Emissionstrends vor allem in den Sektoren private Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen sowie „Übriger Bergbau und verarbeitendes Gewerbe“ sowohl im Referenzfall wie auch in den Klimaschutzszenarien ähnliche Entwicklungsmuster zeigen, verlaufen die CO_2-Emissionen im Verkehrs- und im Umwandlungssektor sehr unterschiedlich hinsichtlich Emissionsniveau und zeitlichem Profil. Werden jedoch ambitionierte Ziele für die (gesamten) CO_2-Emissionsminderungen aufgestellt, ergeben sich auch für diese Sektoren - weitgehend methodenunabhängig - relativ enge Emissionsbänder.

Literatur zu Kapitel 2.3

E3M-Lab (1999): European Union Energy Outlook to 2020. Energy in Europe, Special Issue – November 1999. Luxembourg.

E3M-Lab (2003): European Union Energy and Transport Trends to 2030. Energy in Europe. January 2003. Luxembourg.

EK (Enquete-Kommission 2002): Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und Liberalisierung. Endbericht. Zur Sache 6/2002.

ESSO (2001): ESSO Energieprognose 2001. Hamburg.

Meyer (2002): Prognose der CO_2-Emissionen in Deutschland bis zum Jahre 2010. Osnabrück.

MWV (Mineralölwirtschaftverband) (2002): Höhere Produktivität – geringerer Verbrauch. MWV-Prognose 2020 für die Bundesrepublik Deutschland. Hamburg.

Prognos/EWI (Energiewirtschaftliches Institut der Universität Köln) 1999: Energiereport III. Die längerfristige Entwicklung der Energiemärkte im Zeichen von Wettbewerb und Umwelt. Stuttgart.

Prognos/IER (Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung der Universität Stuttgart)/WI (Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie) (2002): Endbericht Szenarienerstellung. Basel, Stuttgart, Wuppertal.

WI (Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie)/DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) (2002): Langfristszenarien für eine nachhaltige Energienutzung in Deutschland. Endbericht zum Forschungsvorhaben Nr. 200 97 104 des Umweltbundesamtes. Wuppertal, Stuttgart.

2.4 Exkurs: Zum Verständnis von Szenarien (Fraunhofer ISI)

Dieses Kapitel reflektiert kurz die methodischen Aspekte der Szenario-Technik und gibt einige Hinweise zum Verständnis von Szenarien. Da im Unterschied zu rein physikalischen Systemen in sozio-ökonomischen Systemen keine prognostische Aussage im Sinne "Was wird sein?", sondern nur eine bedingte Aussage „Wenn – dann“ über künftig mögliche Entwicklungen in Form einer Folgerung aufgrund eines Annahmenbündels möglich ist, sollen an dieser Stelle kurz die Vorgehensweise und grundsätzlich zentrale Aspekte derartiger Annahmenbündel skizziert werden

Mit Hilfe der Szenariotechnik wird das Ziel verfolgt, ein Bild einer möglichen Zukunft mit einer Kombination von Rahmenbedingungen zu entwickeln, das die Anforderungen der Plausibilität und Konsistenz erfüllt. Im Extrem würde die Begründung aller Einflussfaktoren eine unendliche Kette wissenschaftlicher Argumente erfordern. Indem Szenarien entworfen werden und explizit Annahmen über die Entwicklung von Rahmenbedingungen gemacht werden, wird dieser „regressus ad infinitum“ abgeschnitten. Um die Qualität und die Transparenz der Aussagen zu künftigen Entwicklungen zu gewährleisten, müssen Szenarien sorgfältig entwickelt werden, so dass eine als konsistent angesehene Kombination der Rahmenbedingungen für den Untersuchungsgegenstand entsteht.

Die Szenariotechnik wurde in den USA und in Deutschland in den 70er und 80er Jahren entwickelt (Kahn und Bruce-Briggs 1972, Batelle/Dornier/ISI 1976, Jochem 1988). Sie besteht aus zwei analytischen Schritten:

- Zunächst werden mögliche Entwicklungen in jedem der identifizierten Gebiete der wirksamen Rahmenbedingungen für mindestens den Zeitraum aufgezeigt, der von der Vorhersage für den Gegenstand der Hauptuntersuchung überspannt wird. Dieser Analyseschritt wird auch als Entwicklung von *Prä-Szenarien* bezeichnet. Beispielsweise ist zu untersuchen, in welchem Entwicklungsspielraum sich die Energiepreise an den Weltmärkten, die inländische Wohnbevölkerung oder die Strukturentwicklung der Wirtschaft oder die Akzeptanz von klimapolitischen Maßnahmen bewegen könnten. In der hier vorliegenden

Analyse beschränken sich die Arbeiten zu den Prä-Szenarien im wesentlichen auf die Diskussion möglicher klima-relevanter politischer Maßnahmen sowie auf die Auswahl der Breite möglicher Entwicklung von Energiedienstleistungen, die stark mit der Materialeffizienz und -substitution korrelieren.

- Im zweiten Schritt wird für jedes Gebiet der wirksamen (einflussreichen) Rahmenbedingungen eine mögliche Entwicklung in der Art ausgewählt, dass keine offensichtlichen Widersprüche zwischen den einzelnen Entwicklungen auftreten (Konsistenz-Kriterium). Die Gesamtheit der ausgewählten und als konsistent abgestimmten Entwicklungen der Rahmenbedingungen definieren dann ein *Szenario.* beispielsweise ist es als konsistent anzusehen, dass eine bewusste Politik der Kreislaufwirtschaft und des Leichtbaus von Gebäuden und Fahrzeugen mit einer stringenteren Klimapolitik einhergeht als umgekehrt.

Die Entwicklung von Szenarien in diesem strengen wissenschaftlichen Sinn erfordert eine solide Kenntnis und ein tiefes Verständnis der Rahmenbedingungen und ihrer möglichen Interdependenzen. Das bedeutet, dass die wichtigen Triebkräfte (z.B. die energiebestimmenden Größen) mit der Perspektive identifiziert werden müssen, dass ihre Einflüsse auf das Untersuchungsgebiet (hier: alle treibhausgas-emittierenden Prozesse) in zumindest einem Szenario von merklicher Bedeutung sind. Auch der Zeithorizont eines Szenarios ist von großer Bedeutung zur Identifikation der wichtigen Triebkräfte, da Reinvestitionszyklen, technische und organisatorische Innovationen und auch politische Veränderungen bestimmte Zeitspannen benötigen, um sich durchzusetzen und wirksam zu werden. Beispielsweise ist die dezentrale Stromerzeugung in "virtuellen Kraftwerken" noch kein Thema für das Jahr 2010, wohl aber für 2030.

Ansätze für die Entwicklung von alternativen Szenarien

Im wesentlichen gibt es zwei Ansätze, die bei der Entwicklung von Szenarien verfolgt werden. Beim *explorativen Ansatz* wird versucht, die stärksten Triebkräfte und gestaltenden Kräfte, die auf die Energieverwendung einwirken, zu identifizieren wie das Wirtschaftswachstum, den Strukturwandel, Außenhandelsbeziehungen, Bevölkerungswandel, neue Technologien, welche die Lebensgewohnheiten, das Verhalten, die Einstellungen und das Einkommen in der Bevölkerung verändern. Wenn ein Szenario mit einem explorativen Ansatz entwickelt wird, sind die Ergebnisse wichtiger Indikatoren wie z. B. die Entwicklung der Treibhausgase noch offen bzw. in einem offenen Entwicklungsraum.

Üblicherweise wird ein Referenzszenario auf diese Weise entwickelt. Es dient häufig aus methodischen Gründen als Bezugsbasis, um beispielsweise die Wirkungen von zusätzlichen politischen Maßnahmen hinsichtlich der vermiedenen Emissionen und zusätzlicher Kosten zu quantifizieren, wie dies auch in dieser Analyse erfolgt.

Mit einem *normativen* oder *zielorientierten Ansatz* wird versucht, Wege zur Erfüllung vorab gesetzter Vorgaben oder Ziele zu finden. Solche Vorgaben und Ziele können z. B. das Erreichen von weitreichenden Minderungszielen für CO_2-Emissionen oder die effizientere Nutzung natürlicher Ressourcen innerhalb eines vorgegebenen Zeitraums sein.

Unsicherheiten über die formalen Beziehungen zwischen den Triebkräften und ihren möglichen Auswirkungen können im Rahmen von *Sensitivitätsanalysen oder Variationsrechnungen* der jeweiligen Szenarien untersucht und quantifiziert werden. Ergibt sich bei derartigen Sensitivitäts-Analysen eine hohe Varianz, könnte dieses Ergebnis noch einmal zu Überlegungen führen, einige Rahmenbedingungen eines Szenarios etwas anders zu wählen oder ein weiteres Szenario zu skizzieren. Hierzu können unterschiedliche Preisentwicklungen auf den Weltenergiemärkten (exploratives Szenario) oder unterschiedliche Ziele der Treibhausgasemissionen (zielorientiertes Szenario) ein typisches Beispiel sein (Jochem u. a. 1997).

Literatur zu Kapitel 2.4

Batelle/Dornier/ISI 1976: Szenarien Chemische Technik. Studie im Auftrag des BMBF. Batelle-Bericht, Frankfurt

Jochem, E. 1988: Technikfolgenabschätzung am Beispiel der Solarenergienutzung. Peter Lang Verlag, Frankfurt/Bern/New York/Paris

Jochem, E.; Landwehr, M., Mannsbart, W., Tönsing, E., Nölscher, C., Vollmar, H.: Energieszenarien mit reduzierten CO_2-Emissionen bis 2050. In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen. Sonderdruck aus Heft 8/1997, S. 474-480

Kahn H., Bruce-Briggs B. 1972: Things to Come. The MacMillan Company, New York

3 Evaluation von Maßnahmen zur Minderung der sektoralen Treibhausgasemissionen – Ableitung eines „Mit-Maßnahmen-Szenarios für 2010“

In den folgenden Abschnitten geht es schwerpunktmäßig darum, die quantitativen Wirkungen der im wesentlichen auf Bundesebene seit 1998 beschlossenen und umgesetzten klimaschutzpolitischen Maßnahmen für die einzelnen Sektoren zu analysieren. Dabei werden die vom Ansatz her sektorübergreifenden Maßnahmen (wie die ökologische Steuerreform oder die Selbstverpflichtungserklärungen der Deutschen Wirtschaft) auf die jeweilige sektorale Ebene heruntergebrochen. Gesondert behandelt werden in einem späteren Abschnitt (Kapitel 6) die Wirkungen des vorgesehenen Emissionshandels.

Bevor auf die einzelnen Sektoren eingegangen wird, soll eine Klassifikation der Maßnahmen vorgenommen werden.

3.1 **Klassifikation politischer Maßnahmen** (DIW Berlin)

Die Schätzung der Wirkungen sowohl von bisherigen als auch von weiteren Maßnahmen zur Verminderung von Treibhausgasen setzt eine hinreichende Beschreibung der jeweiligen Maßnahmen voraus.[9] Begrifflich sind die hierbei zu betrachtenden Maßnahmen politischer Entscheidungsträger zunächst klar abzugrenzen zum einen von politischen Zielen (z.B. „Erhöhung des Anteils der Kraft-Wärme-Kopplung“) und zum anderen von technischen und organisatorischen Änderungen, die von einzelnen Unternehmen oder Haushalten durchgeführt werden (z.B. „Investition in Wärmedämmung“). Abgesehen von unmittelbar staatlichen Aktivitäten wie öffentlichen Investitionen in die Infrastruktur dienen *politische Maßnahmen* im allgemein dazu, politische Ziele bzw. Strategien mittelbar umzusetzen, indem das Verhalten von Privaten durch mehr oder weniger bindende Vorgaben oder Anreize beeinflusst wird.

Unter politischen Maßnahmen werden in diesem Sinne im Folgenden bestimmte Eingriffe des Staates in das Wirtschaftsgeschehen verstanden. Hierfür stehen (unabhängig von der konkreten zeitlichen Implementierung und der jeweiligen Dosierung) unterschiedliche politische Instrumente zur Verfügung, die sich z.B. durch die jeweiligen Eingriffsfelder und die Eingriffsintensität unterscheiden. In der Praxis wird dabei häufig der Einsatz mehrerer Instrumente miteinander kombiniert (Maßnahmenbündel).

Entsprechend den Vorgaben für die nationale Berichterstattung innerhalb der Klimarahmenkonvention sind neun Typen von Instrumenten zu unterscheiden (Tabelle 3.1-1).[10] Konkrete politische Maßnahmen lassen sich zwar in manchen Fällen aufgrund der gewählten Klassifikation oder einer Instrumentenkombination nicht eindeutig einem bestimmten Instrumententyp zuordnen, dennoch können mit einer solchen Einteilung die Maßnahmen zumindest nach Grundtypen charakterisiert werden. Zur Erläuterung der einzelnen Instrumententypen sind in der Tabelle jeweils Beispiele angeführt.

Tabelle 3.1-1 Typen politischer Instrumente (nach UNFCCC)

	Instrumententyp	**Erläuterung, Beispiele**
E	Ökonomische Instrumente	Preis- und mengenpolitische Steuerungsmechanismen Umweltabgaben/-steuern, Handelbare Zerifikate, Handelbare Quoten, Mindestpreise, Tarifpolitik, Marktreform/-öffnung
F	Fiskalische Instrumente	Subventionen und öffentliche Infrastrukturausgaben Zuschüsse, verbilligte Kredite, Steuererleichterungen, Staatliche Investitionen
V	Verpflichtungserklärungen	Freiwillige und verhandelte Selbstverpflichtungen, Vereinbarungen von Wirtschaftsbereichen, Branchen oder Unternehmen
R	Regulierung	Ordnungsrechtliche Vorschriften Ver- und Gebote, technische Standards, Produktkennzeichnung
I	Information	Allgemeine Information und Beratung Broschüren, Informationszentralen, Agenturen, Beratungsstellen
ET	Bildung	Regelung und Förderung der Bildung Aus-, Fort- und Weiterbildung
D	Forschung und Entwicklung	Förderung der Forschung, Entwicklung und Demonstration Grundlagen- und anwendungsorientierte Forschung, Projektförderung
O	Andere	Andere Instrumente Appelle, indikative Zielvorgaben/Planung, Hemmnisabbau
Dritter Nationalbericht der Bundesregierung (2002); UNFCCC Guidelines (FCCC/CP/1999/7, Febr. 2000) Die Typen F und O sind im Nationalbericht nicht verwendet.		

Unter *ökonomischen Instrumenten* werden hier solche Maßnahmenkategorien betrachtet, mit denen der Staat indirekt das Verhalten der Privaten durch preis- oder mengenpolitische Mechanismen steuert oder die Voraussetzungen für marktwirtschaftliche Lösungen schafft. Von *fiskalischen Instrumenten* könnte man im weiten Sinne immer dann sprechen, wenn die Wirkung über eine Veränderung im Staatshaushalt erfolgt. In diesem Fall würden sich allerdings große Überschneidungen ergeben, da sich nahezu sämtliche Staatseingriffe mehr oder weniger

[9] Vgl. hierzu den Methodikleitfaden in Diekmann u.a. (1998).

stark auf öffentliche Haushalte auswirken. In einem engeren Sinne sollen hier unter fiskalischen Instrumenten insbesondere solche Maßnahmen subsumiert werden, mit denen der Staat mit öffentlichen Mitteln bestimmte Vorhaben finanziell fördert oder - etwa im Infrastrukturbereich - selbst durchführt. Freiwillige *Selbstverpflichtungen* zum Klimaschutz können grundsätzlich unabhängig von staatlicher Politik abgegeben werden; häufig stehen Verpflichtungserklärungen der Wirtschaft – unabhängig davon, ob sie eigeninitiativ oder verhandelt zustande kommen - aber im Zusammenhang mit ihrer staatlichen Anerkennung im Hinblick auf andere Maßnahmen. Soweit im Gegenzug zu Verpflichtungserklärungen auf andere Maßnahmen von Seiten des Staates verzichtet wird oder Sonderregelungen gewährt werden, können sie mittelbar auch zu staatlichen Instrumenten gezählt werden. *Regulative Instrumente* des Ordnungsrechts, mit denen bestimmte Handlungen vorgeschrieben oder verboten werden, sind durch eine besonders hohe Eingriffsintensität des Staates gekennzeichnet.[11] Hierzu zählen auch die allgemeinen Instrumente des Umweltschutzes wie das UVPG (§ 2 Abs. 1 Nr. 2 sowie 9. BImSchV), die Grundsätze über die Prüfung der Umweltverträglichkeit öffentlicher Maßnahmen des Bundes (dort Art. II Abs. 2), der § 5 Abs. 1 Nr. 5 BImSchG mit seinem Gebot zur sparsamen und effizienten Nutzung von Energie sowie § 2 Abs. 1 Nr. 7 BNatSchG, § 1a, 25b Abs. 1 Nr. 1 d) WHG und § 1 Nr. 1 BwaldG. Diese Gesetze nehmen zwar Bezug auf den Klimaschutz, sollten jedoch in dieser Untersuchung nicht weiter betrachtet werden, zumal sie teilweise noch in die Zeit vor 1998 zurück reichen.

Anders als die ordnungsrechtlichen Maßnahmen zählen Maßnahmen zur Verbesserung der *Information* und der *Bildung* allgemein zu den „weichen“ Instrumenten; im Vergleich mit anderen Maßnahmen lassen sich ihre Wirkungen allerdings weitaus schwieriger beziffern. Dies gilt in ähnlicher Weise auch für den Bereich *Forschung, Entwicklung und Demonstration* neuer Technologien, der aber gerade für Langfriststrategien von besonderer Bedeutung ist. Zu den *anderen Instrumenten* zählt insbesondere der Abbau von institutionellen Hemmnissen, die z.B. der Energieeinsparung oder dem verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien entgegen stehen.

---

[10] „Type or types of policy or measure. Use, to the extend possible, the following terms: economic, fiscal, voluntary/negotiated agreements, regulatory, information, education, research, other;“ (FCCC/CP/1999/7).

[11] Unter Regulierung kann in einem weiten Sinne die Gesamtheit aller staatlichen Eingriffe (im Hinblick auf Preise, Mengen, Produktstandards usw.) verstanden werden; im Rahmen der vorliegenden Klassifikation erscheint aber eine Eingrenzung auf ordnungsrechtliche Regelungen sinnvoll.

Die im folgenden betrachteten politischen Maßnahmen sollen jeweils den beschriebenen Instrumententypen zugeordnet werden, auch wenn nicht in allen Fällen eine *eindeutige* Zuordnung möglich ist.[12] Damit werden zugleich auch Anhaltspunkte für die Quantifizierbarkeit der Wirkungen bisheriger Maßnahmen gegeben. Im Hinblick auf weitere (künftige) Maßnahmen gibt eine solche Typisierung vor allem Aufschluss über die ordnungspolitische Ausrichtung der Politikempfehlungen. Diesbezüglich wird generell eine Verlagerung der Schwerpunkte von ordnungsrechtlich regulierenden und fiskalischen Instrumenten hin zu einem stärkeren Einsatz ökonomischer Instrumente gefordert.

Erinnert sei daran, dass sich die Analyse ihrer Wirkungen auf die Maßnahmen konzentriert, die auf Bundesebene seit 1998 umgesetzt worden sind.

[12] So werden z.B. beim Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) ökonomische Instrumente und Regulierung kombiniert.

3.2 **Industrie (mit industrieller KWK)** (Fraunhofer ISI)

3.2.1 Überblick über die Maßnahmen

Im Folgenden werden die Auswirkungen der seit 1998 ergriffenen bzw. beschlossenen Maßnahmen zur CO_2–Reduktion im Sektor Industrie bis zum Jahr 2010 (für den Zeitraum 2008/2012 des Kyoto-Zieles stehend) quantitativ abgeschätzt. Die für den Sektor Industrie im Mit-Maßnahmen-Szenario berücksichtigten Maßnahmen zur CO_2–Minderung sind in Übersicht 3.2-1 aufgelistet. Sie umfasst die seit 1998 ergriffenen bzw. beschlossenen Maßnahmen zur CO_2–Reduktion, deren Auswirkungen bis zum Jahr 2010 quantitativ abgeschätzt werden. Außerdem erfolgt ein qualitativer Ausblick auf die Wirkungen bis zum Jahr 2020.

Im Maßnahmenkatalog für die Industrie sind auch Querschnittsmaßnahmen enthalten, die noch weitere Verbrauchssektoren betreffen. Die am 1. Februar 2002 in Kraft getretene Energieeinsparverordnung (EnEV) sowie das Angebot an grünem Strom gelten auch für den Haushaltssektor, die ökologische Steuerreform gilt für alle Verbrauchssektoren. Auch die Wirkungen dieser sektorübergreifenden Maßnahmen werden im Folgenden sektorspezifisch abgeschätzt, da die Wirkungsmechanismen sektoral sehr unterschiedlich ausfallen können.

Die der industriellen KWK zuzurechnenden CO_2-Emissionsminderungspotenziale werden jedoch aus energiebilanzsystematischen Gründen nicht im Industrie-, sondern im Umwandlungssektor bilanziert und in Übersicht 3.2-1 lediglich nachrichtlich ausgewiesen. Das gleiche gilt für die indirekten, durch Strom und Fernwärme bedingten CO_2-Emissionen, die hier lediglich nachrichtlich (in Energieeinheiten) genannt werden. Die Umrechnung der energetischen Einsparpotenziale in CO_2–Emissionen sowie deren Bilanzierung erfolgt ebenfalls im Umwandlungssektor.

Methodisch orientiert sich die Maßnahmenquantifizierung eng an der in Politikszenarien I (Ziesing et al. 1997; Diekmann et al. 1998) gewählten Vorgehensweise. Das genaue Vorgehen bei der Quantifizierung wird im Folgenden maßnahmenspezifisch erläutert.

Übersicht 3.2-1 Klimaschutzpolitische Maßnahmen im „Mit-Maßnahmen-Szenario“ in der Industrie

Maßnahme/ Umsetzung/ Institution	Typ	Beschreibung/Ziele (Wirkungsbereich)	Umsetzungs-stand (Wirkungs-beginn)	Erwarteter Effekt 2008/2012 in Mio. t CO_2	Ausblick 2020 (qualitativ)
Energieeinsparver-ordnung (EnEV) in Kraft Bundesregierung	R	Zusammenfassung und Verschärfung bisher geltender Anforderungen der WSchV und der HeizAnlV mit dem Ziel einer Reduktion des Energiebedarfs der Neubauten um 30% sowie der Erschließung von Einsparpotenzialen im Gebäudebestand.	laufend seit 01.02.2002	direkte Emissionen **-2,0** nachrichtl.: FW -3,2 PJ	im Rhyth-mus der Ge-bäudeer-neuerung weiter steigend
Gesetz über die ökologische Steuer-reform in Kraft Bundesregierung	E	Stufenweise Einführung bzw. Erhöhung der Steuersätze auf einzelne Energieträger (Strom, Gas, Kraftstoffe, Heizöl) mit dem Ziel einer Verstärkung der Anreizwirkung für REN und REG bei gleichzeitiger Entlastung des Faktors Arbeit; ermäßigte Steuersätze für das Produzierende Gewerbe.	laufend seit 01.04. 1999	direkte Emissionen **-2,2**	konstant bis steigend (abhängig von der Entwicklung der Steuer-sätze)
Nutzung des Ange-bots von grünem Strom laufend Wirtschaft	E,V	Verstärkung des Angebots von Strom aus erneuerbaren Energien zur Erhöhung ihres Anteils am Energie-Mix.	laufend	nachrichtl.: Strom-produktion von 0,49 TWh	steigend
Verbesserung der Kreditprogramme von KfW/DtA Prüfung Bundesregierung	F	Zwischen 1998 und 2002 leichte Ausdehnung der Zusagen i.R. des KfW-Umweltpro-grammes, aber Rückgang beim DtA-Programm; d.h. bisher noch keine nennens-werte Verbesserung ersichtlich.	unsicher	0	
Erklärung der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge II in Kraft Bundesregierung Wirtschaft	V	Fortschreibung der Selbstverpflichtung der dt. Wirtschaft von 1996 zur Emissionsreduktion: Minderung CO_2 bis 2005 28 % (vorher 25 %); Minderung der Kyoto-Gase bis 2012 um 35 % (vorher 21 % bis 2008/ 2012) im Vergleich zu 1990. (Überschneidungen mit KWK und Maßnahmen Stromwirtschaft. Widersprüche in Gesamterklärung zwischen angegebenen absoluten CO_2-Einsparungen und spezifischen Zielen)	laufend seit 9.11.2000	direkte Emissionen **-2,5 bis -3,0** nachrichtl.: - 0,9 TWh Strom	konstant
Maßnahmen zur Förderung der industriellen KWK: Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz, Gesetz über die ökologische Steuerreform, Erneuerbare Energiengesetz	E	Die angeführten Maßnahmen fördern die KWK indirekt, weil sie zu höheren Strompreisen für einen Stromfremdbezug führen und damit industrielle KWK-Analgen wirtschaftlicher werden	laufend	nachrichtl.: Emissionen **-1** bis **-2**	steigend

noch

Übersicht 3.2-1 Klimaschutzpolitische Maßnahmen im „Mit-Maßnahmen-Szenario“ in der Industrie

Selbstverpflichtung der Wirtschaft zur Förderung der KWK [1)] in Kraft Bundesregierung Wirtschaft	V	Selbstverpflichtungserkläung von Teilen der deutschen Wirtschaft/Energiewirtschaft zum Ausbau der KWK (in der Summe von GHD, Industrie und Energiewirtschaft 9 Mio..t CO2 bis 2010 mit Bezug auf 1998)	laufend seit 04.07.2001	nachrichtl.: Emissionen **0** bis **-1**	konstant
EMAS-Verordnung in Kraft Bundesregierung	I,V	Europäisches Umweltmanagementsystem EMAS (Eco Management and Audit Scheme) zur kontinuierlichen Verbesserung des betrieblichen Umweltschutzes bei Stärkung der Eigenverantwortung der Wirtschaft; mit der Novellierung der ersten EMAS-VO von 1995 (EMAS II vom 27.4.2001) sowie der EMAS-Privilegierungs-Verordnung vom 29.6.2002 soll eine breitere Akzeptanz erzielt werden.	laufend	sehr gering	sehr gering
1) Gewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen auf die direkten CO_2-Emissionen				**-7.0**	**steigend**
2) Direkte CO_2-Emissionen des Sektors im "Mit-Maßnahmen-Szenario" (entspricht dem ggf. zu modifizierenden Referenz-Szenario der Enquete-Kommission)				**110.5**	**fallend**
3) Direkte CO_2-Emissionen des Sektors im Ohne-Maßnahmen-Szenario (1+2)				**117.4**	**konstant**
CO_2-Emissionen im Basisjahr 1990 (lt. DIW Berlin; Energiebilanzsystematik)				**168.5**	

1) Ausgewiesen ist lediglich die zusätzliche Minderung; autonom (marktgetrieben) wird erwartet, dass industrielle KWK Maßnahmen zu weiteren CO_2 Einsparungen führen (siehe Diskussion im Kapitel 3.2.2.6)

3.2.2 Zur Quantifizierung der CO_2-Minderungspotenziale

3.2.2.1 Energieeinsparverordnung (EnEV)

Die am 1. Februar 2002 in Kraft getretene Energieeinsparverordnung (EnEV) ist die einzige neue ordnungsrechtliche, d. h. dem Instrumententyp „Regulierung“ [**R**] zuzurechnende Maßnahme, die seit 1998 im Industriesektor relevant ist. Sie gilt sowohl für den Haushaltssektor als auch für Gebäude in den Sektoren Industrie und GHD und hat die Wärmeschutzverordnung von 1994 sowie die Heizungsanlagenverordnung ersetzt. Für Neubauten wird damit der zulässige Energiebedarf um 30 % gegenüber dem bisherigen Anforderungsniveau gesenkt. Außerdem ist für alle neue Gebäude ein Energiebedarfsausweis vorgeschrieben. Energetische Verbesserungen im Gebäudebestand sind insbesondere bei baulichen Änderungen und zur Heizungserneuerung vorgesehen.

Die Abschätzung der Wirkung der Energieeinsparverordnung im Sektor Industrie beruht auf folgenden Annahmen:

- Anteil der Raumwärme am Brennstoffbedarf der Industrie rund 15 %
- Für neu errichtete Gebäude: 2 % Gebäudeumsatz pro Jahr; Abschätzung der Wirkung der Maßnahme über 8 Jahre (2002 bis 2010); Befolgungsgrad der Verordnung: 85 %; erzielte Einsparung gegenüber der Wärmeschutzverordnung von 1994: 30 %;
- Für existierende Gebäude (nur Heizung): Einsparung 10 %; Wirkung der Maßnahme über 4 Jahre (2006 bis 2010; Ende der Übergangsfrist für alte Kesselanlagen); 15 % des Bestandes betroffen.

Unter Zugrundelegung dieser Annahmen ergibt sich bis zum Jahr 2010 eine der Energieeinsparverordnung zuzurechnende Verminderung der direkten CO_2–Emissionen im Industriesektor um rund 2 Mio. t. Hinzu kommt eine Einsparung an Fernwärme in Höhe von ca. 3,2 PJ, deren CO_2–Minderungseffekt jedoch dem Umwandlungssektor zugerechnet wird. Bis zum Jahr 2020 ist auch bei einer Beibehaltung (und nicht einer weiteren Verschärfung) der heute gültigen Anforderungen der EnEV mit einer weiter ansteigenden CO_2-Minderungswirkung zu rechnen: Bis 2010 wird, wegen der langen Umsatzzeiten auch bei industriellen Bauten, unter den gegebenen Annahmen erst rund ein Sechstel des dann existierenden Bestandes durch die ENEV erfasst. Die Durchdringung des Bestandes setzt sich nach 2010 weiter fort.

3.2.2.2 Gesetz über die ökologische Steuerreform

Die wichtigste Maßnahme aus dem Bereich der ökonomischen Instrumente [**E**] stellt die Ökologische Steuerreform dar, die zum 1. April 1999 in Kraft trat. Bei dieser Maßnahme handelt es sich um eine pretiale Querschnittsmaßnahme, die alle Verbrauchssektoren betrifft. Dennoch soll versucht werden, die Wirkungen dieser Maßnahme den einzelnen Verbrauchssektoren, so auch die Industrie, zuzuordnen.

Mit der am 1. April 1999 in Kraft getretenen 1. Stufe der ökologischen Steuerreform (BGBl. I, S. 378, 1999) erfolgte eine Anhebung der Mineralölsteuer bei Kraftstoffen um 3,1 Cent/l, bei Heizöl um 2 Cent/l, bei Erdgas um 0,16 Cent/kWh sowie die Einführung einer Stromsteuer von 1 Cent/kWh. Nach dem seit dem 1. Januar 2000 geltenden Gesetz zur Fortführung der ökologischen Steuerreform (BGBl. I, S. 2432, 1999) ist von 2000 bis 2003 eine jährliche Erhöhung der Steuersätze für Kraftstoffe um 3,1 Cent/l und für Strom um 0,26 Cent/kWh vorgesehen.

Weiterhin hat der Deutsche Bundestag am 14. November 2002 dem Gesetzentwurf der Regierungsfraktionen zur Fortentwicklung der ökologischen Steuerreform zugestimmt. Das Gesetz ist am 1. Januar 2003 in Kraft getreten (BGBl. I, S. 4602, 2002) und enthält im Wesentlichen folgende Regelungen, die die ökologische Lenkungswirkung der Steuer weiter verstärken sollen und insbesondere auch den Industriesektor betreffen:

- Die ermäßigten Ökosteuersätze für Strom, Heizöl und Erdgas für Unternehmen des Produzierenden Gewerbes und Unternehmen der Land- und Forstwirtschaft werden von derzeit 20 % auf 60 % der Regelsätze angehoben. Gleichzeitig wurde eine Änderung beim sog. Spitzenausgleich für energieintensive Unternehmen vorgenommen. Diesen werden in Zukunft bereits Ökosteuer-Zahlungen zurück erstattet, sobald diese die Senkung der Arbeitgeber-Beiträge zur Rentenversicherung übersteigen. Bisher war das erst der Fall, wenn die Ökosteuer-Zahlungen um mehr als 20 Prozent über der Entlastung lagen. Allerdings werden in Zukunft nur noch 95 Prozent der Differenz statt wie bisher die gesamte Summe erstattet. Dies entspricht einem Steuersatz von 5 % des ermäßigten bzw. 3 % des normalen Ökosteuersatzes.

- Die Steuersätze für Erdgas zum Heizen und Flüssiggas werden um rund 63 %, für schweres Heizöl um rund 72 % angehoben.

Darüber hinaus wird seitens des BMU die bereits im Koalitionsvertrag zwischen der SPD und den Grünen vom 16. Oktober 2002 angekündigte Überprüfung und Weiterentwicklung der Ökologischen Steuerreform in Richtung auf eine Ökologische Finanzreform vorangetrieben.

Die Quantifizierung der CO_2–Minderungswirkung der ökologischen Steuerreform für den Sektor Industrie (und die übrigen Sektoren) erfolgte zunächst auf der Grundlage der sektoralen Ergebnisse eines aktuellen Gutachtens des DIW zur ökologischen Steuerreform (Bach et al. 2001; Tabelle 4-17). Berücksichtigt sind im Industriesektor nur die direkten Emissionen; die indirekten Emissionen aus durch die Ökologische Steuerreform induzierten Stromeinsparungen werden direkt dem Energiesektor zugerechnet. Für den Sektor Industrie wurde in der genannten Untersuchung bis zum Jahr 2010 ein durch die Ökosteuer bedingter Rückgang der direkten CO_2–Emissionen gegenüber dem Referenzlauf ohne Ökosteuer um 1,13 % für den Bereich Grundstoffe/Chemie, um 1,54 % für die Investitionsgüter und um 1,05 % für die Verbrauchgüter angenommen. Für die Industrie insgesamt ergibt sich damit, gewichtet mit den jeweiligen Anteilen dieser Verbrauchsbereiche am gesamten industriellen Energie-

verbrauch, ein der ökologischen Steuerreform zuzurechnender Rückgang der direkten CO_2-Emissionen um rund 1,2 % bis 2010. Überträgt man diesen Wert auf die gesamten CO_2-Emissionen des Sektors Industrie im Referenzszenario von 118,4 Mio. t im Jahr 1998, so entspricht dies einem Rückgang der CO_2–Emissionen um rund 1,4 Mio. t bis 2010.

Für den Zeitraum 2003-2010 sind zusätzlich noch die Auswirkungen des zum 1. Januar 2003 in Kraft getretenen Gesetzes zur Fortentwicklung der ökologischen Steuerreform zu betrachten. Für den Industriesektor betrifft dies in erster Linie die Verdreifachung der ermäßigten Steuersätze von 20 auf 60 % sowie die Veränderungen beim Spitzenausgleich. Insgesamt dürfte sich dadurch die Einsparwirkung im Industriesektor, die im DIW-Gutachten insbesondere wegen der für viele Unternehmen geltenden reduzierten Steuersätze als gering eingeschätzt wurde, erhöhen, wenn auch nicht im gleichen Ausmaß wie die Steuersatzerhöhung. Denn die Unternehmen sind in unterschiedlichem Ausmaß von diesen Veränderungen betroffen:

- Für diejenigen Unternehmen, die sowohl bisher als auch mit der neuen Regelung nicht unter den Spitzenausgleich fallen, bedeutet die Neuregelung eine Verdreifachung des bisherigen Steuersatzes, was die ökonomische Anreizwirkung zur Reduktion der CO_2–Emissionen deutlich erhöht.

- Für diejenigen Unternehmen, die sowohl bisher als auch in Zukunft unter den Spitzenausgleich fallen, erhöht sich die Steuerbelastung ebenfalls, und zwar von 0 % auf 5 % des ermäßigten bzw. 3 % des normalen Satzes. Auch wenn die zusätzlichen Kosten relativ gering ausfallen, bedeutet dies dennoch für diese Gruppe von Unternehmen einen erhöhten Anreiz, die Energienachfrage und damit die CO_2–Emissionen zu reduzieren.

- Für eine dritte Gruppe von Unternehmen verringert sich durch die Neuregelung jedoch der Anreiz zur Energieeinsparung, nämlich für diejenigen Unternehmen, die bisher nicht unter den Spitzenausgleich fielen, die aber nun, durch die Verdreifachung des Steuersatzes, auch zu den bevorzugten Unternehmen gehören. Für diese Gruppe verringert sich die Steuerbelastung von bisher 20 % des normalen Steuersatzes auf 3 %. Zum heutigen Zeitpunkt gibt es jedoch keinerlei quantitativen Angaben darüber, wie groß die Gruppe dieser Unternehmen ist.

Trotz dieser Unsicherheiten wird durch die neue Ausgestaltung der Ökosteuer von einer deutlichen Erhöhung der Anreizwirkung zur Reduktion der Energienachfrage und der dadurch be-

dingten CO_2–Emissionen im Industriesektor ausgegangen. Auf Grund des teilweise gegenläufigen Effektes wird aber nicht mit einer Verdreifachung, sondern maximal mit einer Verdoppelung des für die bisherige Regelung abgeschätzten Effektes gerechnet. Unter Berücksichtigung des kürzeren Wirkungszeitraumes ergibt sich damit eine zusätzliche CO_2–Reduktion von etwa 0,8 Mio. t bis zum Jahr 2010. Insgesamt bedeutet dies einen durch die unterschiedlichen Stufen der Ökologischen Steuerreform bedingten Rückgang der CO_2–Emissionen im Industriesektor bis 2010 um rund 2,2 Mio. t. Dabei wird allerdings unterstellt, dass es zunächst zu keiner weiteren Anhebung der Steuersätze über das Jahr 2003 hinaus kommt.

Die weiteren Auswirkungen der Ökosteuer über das Jahr 2010 hinaus – und gegebenenfalls auch schon für die zweite Hälfte dieses Jahrzehnts – hängen von der weiteren Entwicklung der Steuersätze insgesamt bzw. der ermäßigten Steuersätze für die Industrie ab. Kommt es hier zu keiner weiteren Verschärfung, ist mit einer etwa gleichbleibenden Wirkung zu rechnen. Bei einer weiteren Erhöhung der Steuersätze erhöht sich auch der ökonomische Anreiz für eine weitere Reduktion der Energienachfrage bzw. der CO_2–Emissionen in den Unternehmen.

3.2.2.3 Nutzung des Angebots von grünem Strom

Seit die energiepolitischen Rahmenbedingungen in Deutschland geändert wurden, haben sich Grüne Angebote im Stromsektor in Deutschland verstärkt etabliert. Die Grundidee von so genannten Grünen Angeboten im Stromsektor ist die Produktdifferenzierung auf Grund umweltrelevanter Eigenschaften, womit den Konsumenten die Möglichkeit gegeben wird, die mit der Herstellung eines Produktes verbundenen Umweltauswirkungen in die Kaufentscheidung einzubeziehen. Unter Grünen Angeboten[13] werden i.d.R. verschiedene Formen der Elektrizitätsproduktion auf Basis regenerativer Energieträger und Kraft-Wärme-Kopplung zusammengefasst, die den Kunden als Alternative zum konventionellen Strombezug offeriert werden. I.d.R. ist ein Bezug auf Basis eines Grünen Angebotes teurer als ein konventionelles Angebot. Auf Grund der Freiwilligkeit zur Teilnahme an einem solchen Angebot hängt die Wirksamkeit dieses Instrumentes von der Bereitschaft der Stromverbraucher ab, ein solches Angebot zu nutzen.

[13] Bei Grünen Angeboten handelt es sich nicht um einen geschützten Begriff.

Trotz einer Vielzahl von Angeboten (im Jahre 2000 wurden ca. 200 Angebote von klassischen Energieversorgungsunternehmen und 40 von speziellen Ökostromhändlern offeriert) ist die Teilnahmequote über alle Kundengruppen hinweg als sehr gering zu bezeichnen (die durchschnittliche Teilnehmerquote liegt bei 0,23 %, wobei sie sich allerdings gegenüber 1999 (0,06 %) deutlich gesteigert hat) (Dreher et al. 2002).

Die sich bisher als problematisch für die Akzeptanz Grüner Angebote erwiesenen Aspekte werden im Folgenden kurz diskutiert (Wietschel et al. 2002; Birzle-Harder et al. 2002).

Da es sich bei Elektrizität im Gegensatz zu zahlreichen anderen Produkten um ein aus Kundensicht homogenes Gut handelt, ist der Unterschied zwischen "normalem" Strom und Grünem Strom für den Konsumenten nicht unmittelbar zu erkennen. Hinzu kommt, dass wesentliche mit der Stromerzeugung verbundene Umweltauswirkungen globaler Natur sind und in einem längerfristigen Zeitraum spürbar werden, wie z. B. Klimaveränderungen aufgrund von Treibhausgasemissionen. Damit wird der Umweltnutzen eines Grünen Stromangebots für den Konsumenten nicht direkt erkennbar. Insgesamt bedeutet diese Situation, dass die Differenzierung zwischen normalem Stromangebot und Grünem Angebot dem Kunden im Allgemeinen schwerer zu vermitteln ist, als dies bei anderen Ökoprodukten der Fall ist[14]. Weil diese Umstände aufgrund des fehlenden beziehungsweise nicht erkennbaren *direkten* Nutzens die Akzeptanz von Grünen Stromangeboten verringern können, erscheint es in diesem Zusammenhang von besonderer Bedeutung, ein glaubwürdiges und transparentes Qualitätssicherungssystem für Grüne Stromangebote zur Darstellung des Umweltnutzens zu etablieren. Bisher wurden einige Qualitätssicherungssysteme von verschiedenen Anbietern entwickelt, wobei sich jedoch kein System eindeutig durchsetzen konnte. Die Vielzahl von Systemen trägt nicht zur Transparenz bei.

Eine wesentliche Forderung an Grüne Angebote ist die der Zusätzlichkeit. Darunter ist zu verstehen, dass ein erkennbarer Beitrag zum Umweltschutz durch eine Teilnahme am Grünen Angebot geleistet werden muss. Hierdurch kommt der Fördergedanke zum Ausdruck. Aus der Anforderung der Zusätzlichkeit lässt sich ableiten, dass die vielfach erhobene Forderung nach Ausschluss von Strom aus regenerativen Erzeugungsanlagen, die unter die Garantiepreise und die Abnahmepflicht des Erneuerbaren Energiengesetzes (EEG) fallen, ihre Berechtigung hat.

---

[14] Bei anderen Öko-Produkten ist der Nutzen für den Konsumenten transparenter: z. B. verbesserte Wohnqualität bei Ökomöbeln oder bessere Gesundheit durch den Genuss von Ökolebensmitteln.

Dies betrifft sowohl Strom aus Anlagen, die über das EEG vergütet und als Grüne Angebote deklariert werden, sowie Anlagen, die durch das EEG gefördert werden könnten, aber über Grüne Angebote vermarktet werden. In beiden Fällen tritt nur eine Verlagerung der Kosten von der Allgemeinheit der Stromverbraucher auf die Teilnehmer an Grünen Angeboten auf. Die Diskussion ist auch auf Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen mit fossilen Energieträgern zu übertragen, weil für diese das so genannte Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG) mit einer Abnahme- und Vergütungsgarantie gelten kann. Generell ist die Koexistenz des EEG- und des KWK-Gesetzes mit Grünen Angeboten eher als problematisch einzustufen.

Weiterhin ist zu beachten, dass bisher überwiegend bereits bestehende Anlagen durch Grüne Angebote gefördert werden und weniger in Neuanlagen investiert wird, wo der Aspekt der Zusätzlichkeit einfacher zu vermitteln ist[15].

Die bisherigen empirischen Studien lassen den Schluss zu, dass der Preis für ein Grünes Angebot kein ausschlaggebendes Erfolgskriterium ist, sondern dass andere Faktoren wie die Glaubwürdigkeit eine größere Rolle bei der Akzeptanz spielen.

Das Marktvolumen Grüner Angebote für alle Kundengruppen kann nach Dreher (2002) für das Jahr 2001 mit rund 0,640 TWh an Stromlieferung abgeschätzt werden und nach Greenprices (2003) werden für das Jahr 2002 0,8 TWh genannt.. Im Vergleich zu der über das EEG geförderten Strommenge von etwa 13 TWh im Jahr 2000 und unter Berücksichtigung einer Stromnachfrage über alle Kundengruppen von 495 TWh im Jahre 2000 ist dies nur ein geringer Betrag. Auch die Anzahl der Kunden, die im Jahre 2002 mit 324 000 angegeben wird (Quelle Greenprices (2003) sind mit Bezug auf die 43,72 Mio. Stromkunden in Deutschland (VDEW 2001) eher als gering einzustufen[16]. Weiterhin ist zu beachten, dass 80 % der Angebote auch für Gewerbekunden gelten, aber nur 39 % der Angebote auch Sondervertragskunden angeboten werden[17]. Berücksichtigt man diese Zahlen und den Aspekt, dass die Zusätz-

---

[15] Der im Rahmen Grüner Angebote verkaufte regenerative Strom stammt im Jahre 2000 im Mittel bei etablierten EVU zu einem Anteil von 78 % und bei Ökostromhändlern zu 68 % aus Altanlagen, die auch ohne Unterstützung durch das Angebot bereits betrieben wurden (Dreher et al. 2002). Überwiegend werden bestehende Wasserkraftwerke durch Grüne Angebote unterstützt.

[16] Auch die Steigerungsrate von 16 % zwischen 2001 und 2002 lässt aufgrund des vergleichsweise niedrigen Sockels nicht die Vermutung zu, dass Grüne Angebot absolut gesehen einen hohen Marktanteil gewinnen werden.

[17] Zur Ermittlung der Rolle von Grünen Angeboten im Industriesektor und im GHD-Sektor wurde eine Auswertung der empirischen Erhebungen des IIP in Kooperation mit dem VDEW vorgenommen (zur Beschreibung der Umfrage siehe Wietschel et al. 2002).

lichkeit nicht immer als gewährleistet anzusehen ist, so ist der aktuelle Beitrag von Grünen Angeboten für den Industriesektor als eher gering im Rahmen einer nationalen Klimaschutzstrategie einzuordnen. Unter der Annahme, das 0,8 kg CO_2/kWh durch die Stromerzeugung von erneuerbaren Energieträgern eingespart wird (siehe zur Begründung Kapitel 3.10) und einer Gewicht der Stromkundengruppen nach der Anzahl der Angebote (womit eine gleiche Beteiligungszahl über die Kundengruppen unterstellt wird) und ihrer Stromnachfrage lässt sich überschlägig eine CO_2–Einsparung durch die Teilnahme an Grünen Angeboten von Industrieunternehmen von knapp 0,24 Mio. t CO_2 für das Jahr 2002 abschätzen. Auch zukünftig ist das Potenzial Grüner Angebote aufgrund der angeführten Probleme als eher gering einzustufen. Wenn die gleichen Steigerungsraten aus den letzten Jahren unterstellt werden, lässt sich ein möglicher Beitrag an einer CO_2–Minderung mit ca. 0,62 Mio. t CO_2 bis zum Jahr 2010 abschätzen[18] (bei einer produzierten Strommenge von 0,49 TWh). Aufgrund der aktuellen Zuwachsraten wird abgeschätzt, dass der Minderungsbeitrag nach 2010 weiter steigt. Dabei ist anzumerken, dass diese Einschätzung auf einer sehr unsicheren Datenbasis beruht. Erst wenn die angesprochenen Probleme gelöst werden und als mögliche Alternative zum EEG könnten Grüne Angebote längerfristig gesehen durchaus einen wesentlich höheren Beitrag zum Klimaschutz leisten.

3.2.2.4 Verbesserung der Kreditprogramme von KFW/DtA

Als wichtigstes fiskalisches Instrument zur CO_2–Reduktion [**F**] wird im nationalen Klimaschutzprogramm und im 3. Nationalbericht der Bundesregierung die Verbesserung der Förderprogramme der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) und der Deutschen Ausgleichsbank (DtA) genannt. Ende 2002 wurden KfW und DtA in einer neu gebildeten Mittelstandsbank zusammengelegt. Bis einschließlich 2002 wurden alle Förderprogramme getrennt durchgeführt und werden hier auch getrennt dargestellt.

Im Rahmen der KfW-Förderung ist für die Förderung der rationellen Energienutzung im Industriesektor in erster Linie das *KfW-Umweltprogramm* relevant. Im Rahmen dieses Programms, das bisher ausschließlich aus Eigenmitteln der KfW finanziert wurde, können sowohl Industrieunternehmen als auch Unternehmen des GHD-Sektors Fördermittel erhalten[19].

---

[18] Wobei anzumerken ist, dass diese Einschätzung auf einer sehr unsicheren Datenbasis basiert und es sich eher um eine eher optimistische Einschätzung handeln dürfte.

[19] Die übrigen KfW-Programme im Umweltbereich betreffen insbesondere den Wohngebäudebereich, speziell die erneuerbaren Energien sowie Infrastrukturinvestitionen.

Gefördert werden Investitionen, die eine wesentliche Verbesserung der Umweltsituation bewirken. Angesprochen werden speziell Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft, freiberuflich Tätige, Betreibermodelle in der Entsorgungswirtschaft und Unternehmen, an denen die öffentliche Hand, Kirchen oder karitative Organisationen beteiligt sind. Eine Auswertung der KfW über die Kreditzusagen im Rahmen dieses Programms ergab für den Zeitraum 1990-1997 Zusagen in Höhe von durchschnittlich 488 Mio. € pro Jahr. Seit 1998 ist das Volumen der Kreditzusagen deutlich auf Werte zwischen 700 und 900 Mio. € gestiegen (Tabelle 3.2-1). Eine Aufteilung des Gesamtvolumens auf Förderzwecke und Sektoren ist nur für das Jahr 2002 möglich; für frühere Jahre liegen diese differenzierten Angaben nicht vor. Im Jahr 2002 entfiel danach knapp die Hälfte der Zusagen von insgesamt 866 Mio. € auf Maßnahmen zur Energieeinsparung und zum Klimaschutz in Industrie und Gewerbe. Rund 57 % der Kreditzusagen entfielen dabei auf dem Industriesektor zuzurechnende Bereiche.

Tabelle 3.2-1 Jährliche Kreditzusagen im KfW-Umweltprogramm 1990-2002 (Industrie und GHD): Angaben in Mio. €

	1990-1997	1998	1999	2000	2001	2002
Gesamtes KfW-Umweltprogramm	488	814	833	681	919	866
Darunter: rationelle Energienutzung						419
Anteil Sektor Industrie						ca. 57 %

Quelle: KfW 2002/03 (persönliche Mitteilungen)

Seitens der Deutschen Ausgleichsbank (DtA) existieren ebenfalls eine Reihe von Förderprogrammen, die u. a. der Finanzierung von Investitionen zur rationellen Energieverwendung dienen. Das *DtA-ERP-Umwelt- und Energiesparprogramm* und das *DtA-Umweltschutz-Bürgschaftsprogramm* (Risikoübernahme für Investitionen und Anlaufkosten) richten sich an gewerbliche Unternehmen, insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMU). Im *DtA-Umweltprogramm* können ebenfalls KMU der gewerblichen Wirtschaft sowie freiberuflich Tätige gefördert werden. Die Förderaktivitäten der DtA werden seit 1998 im DtA-Förderreport jährlich dokumentiert. Für den Zeitraum 1990-1999 liegt die Gesamtsumme vor. Die Dokumentation erfolgt nicht nach einzelnen Programmen, sondern nach den vier Geschäftsfeldern der DtA (Existenz-/Unternehmensgründung, Umwelt, Technologie, Bildung und Soziales). Die Förderung von Investitionen in die rationelle Energienutzung ist weitgehend dem Förderbereich Umwelt zuzuordnen, in dem daneben Vorhaben der regenerativen Energieerzeugung, integrierte Umweltschutzmaßnahmen zur Luft- und Wasserreinhaltung sowie zur Abfallvermeidung gefördert werden. Innerhalb des Förderbereichs Umwelt domi-

nierten in den letzten Jahren Darlehenszusagen mit dem Förderzweck „Energie“ (erneuerbare Energien und rationelle Energienutzung). Im Jahr 2002 betrug das gesamte Darlehensvolumen für diesen Zweck 2 Mrd. € bei einem Gesamtvolumen des Förderbereichs Umwelt von 2,34 Mrd. €. Von den gesamten Fördermitteln für regenerative Energien und effiziente Energienutzung wurden im Jahr 2002 allerdings fast 90 % in Windkraftanlagen investiert, die auch in den Vorjahren schon dominierten.

Das zugesagte Darlehensvolumen für Investitionen in die rationelle Energienutzung lag demgegenüber lediglich bei 154 Mio. € (Tabelle 3.2-2). Davon entfielen 88,5 % der Zusagen auf den Sektor industrielles Gewerbe (in dem sowohl dem Industrie- als auch dem GHD-Sektor zuzuordnende Unternehmen vertreten sind), der verbleibende Teil auf die Sektoren Baugewerbe, Handel und Dienstleistungen (Teilsektoren des GHD-Sektors). Auch in den vorhergehenden Jahren war das Darlehensvolumen für Investitionen in die rationelle Energienutzung, das im Schnitt der 90er Jahre noch bei über 500 Mio. € gelegen hatte, bereits gesunken. Im Jahr 2002 gingen insbesondere die Zusagen für Investitionen in energiesparende Fertigungsanlagen und die sonstige Energieeinsparung zurück, während die Kraft-Wärme-Kopplung deutlich zulegte (Tabelle 3.2-2).

Tabelle 3.2-2 Zusagen der DtA im Förderbereich Umwelt mit dem Förderzweck rationelle Energienutzung in Industrie und GHD)
- Darlehensvolumen in 1000 € -

	1990-1999	**1998**	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**
Kraft-Wärme-Kopplung	1.184.880	123.300	48.680	24.216	3.350	28.328
Energiesparende Fertigungsverfahren	2.317.820	257.597	272.374	207.495	229.663	88.725
Mess-, Regel-/Steuereinrichtungen	21.620	1.174	654	46	171	2.380
Kältemaschinen	12.260	2.234	1.024	583	156	35
Abwärmenutzung	37.570	17.229	k. A.	205	215	50
Sonstige Energieeinsparung	1.098.720	115.360	172.850	75.222	93.960	34.683
Summe rationelle Energienutzung	**4.672.870 (519.208/a)**	**516.894**	**495.582**	**307.767**	**327.515**	**154.201**

Quelle: DtA-Förderreports; persönliche Mitteilungen

Betrachtet man Summe der Förderung der rationellen Energienutzung im KfW-Umweltprogramm (das deren separate Betrachtung allerdings erst ab 2002 zulässt) sowie im Rahmen des DtA-Förderbereichs Umwelt, so lässt sich keine nennenswerte Verbesserung bzw. Erweiterung der Programme seit 1998 feststellen. Zwar stiegen die Kreditzusagen im Rahmen des KfW-Umweltprogramms seit 1998 relativ deutlich an. Dafür gingen aber die der Energieeinsparung in Industrie und Gewerbe zuzurechnenden Kreditzusagen im Förderbe-

reich Umwelt der DtA in ähnlichem Umfang zurück. Aus diesem Grund wird dieser Maßnahme im Mit-Maßnahmen-Szenario auch keine zusätzliche CO_2–mindernde Wirkung zugeordnet, die über den im Referenzszenario bereits enthaltenen CO_2–Minderungsbeitrag hinausgeht. Eine nennenswerte Ausdehnung der Mittel für diese Kreditprogramme in den kommenden Jahren erscheint angesichts der derzeitigen Haushaltslage des Bundes auch nicht sehr wahrscheinlich.

3.2.2.5 Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge [20]

Verpflichtungserklärungen der Wirtschaft [**V**] kommt in der deutschen Klima- und Energiepolitik seit den 90er Jahren eine große Bedeutung zu. In der Erklärung vom 9. November 2000 haben sich verschiedene Verbände der Wirtschaft bereit erklärt, "ihre spezifischen Emissionen über alle sechs im Kyoto-Protokoll genannten Treibhausgase (CO_2, CH_4, N_2O, SF_6, HFKW und FKW) insgesamt um 35 % bis 2012 im Vergleich zu 1990 zu verringern“. Die deutsche Wirtschaft sagt zu, im Zeitraum bis 2005 zusätzliche Anstrengungen zu unternehmen, um eine spezifische CO_2-Minderung von 28 % im Vergleich zu 1990 zu erreichen. Im weiteren Verlauf der Erklärung *(„Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge“*, unterzeichnet von Verbänden der Wirtschaft und der Bundesregierung) wird unterstrichen, dass die Bundesregierung und die deutsche Wirtschaft davon ausgehen, dass damit "die Emissionsvolumina im Jahre 2005 um zusätzlich 10 Mio. t CO_2 und im Jahre 2012 nochmals um zusätzlich 10 Mio. t CO_2 Äquivalente gegenüber der bisherigen Selbstverpflichtungserklärung gesenkt werden können." Diese Vereinbarung beinhaltet die Fortschreibung und Erweiterung der entsprechenden Vereinbarung aus dem Jahr 1996, in der die Wirtschaft zugesagt hatte, freiwillig besondere Anstrengungen zu unternehmen, um die spezifischen CO_2-Emissionen bzw. den spezifischen Energieverbrauch bis zum Jahr 2005 gegenüber 1990 um 20 % zu mindern.

Der größte Teil dieser Verbände hat im Nachgang zur so genannten Chapeau-Erklärung vom 9. November 2000 wiederum eigene Minderungszusagen gemacht. Dabei handelt es sich um

- Bundesverband der Deutschen Kalkindustrie e.V. (15. Dezember 2000)
- Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V. (15. Dezember 2000)

[20] Dieses Kapitel basiert teilweise auf Analysen des Öko-Instituts.

- Industrieverband Keramische Fliesen + Platten e.V. (15. Dezember 2000)
- Verband der Deutschen Feuerfest-Industrie e.V. (15. Dezember 2000)
- Verein Deutscher Zementwerke e.V. (18. Dezember 2000)
- Verein der Zuckerindustrie e.V. (22. Dezember 2000)
- Verband Deutscher Papierfabriken e.V. (22. Dezember 2000)
- Kaliverein e.V. (12. Januar 2001)
- Gesamtverband der Textilindustrie in der Bundesrepublik Deutschland GESAMTTEXTIL e.V. (25. Januar 2001)
- Bundesverband der deutschen Glasindustrie und Mineralfaserindustrie e.V. (18. April 2001)[21]
- Wirtschaftsvereinigung Stahl e.V. und Verein Deutscher Eisenhüttenleute e.V. (10. Mai 2001)
- Bundesverband der Deutschen Gas- und Wasserwirtschaft e.V. (10. August 2001)
- Verband der Chemischen Industrie e.V. (20. August 2001)
- Mineralölwirtschaftsverband e.V. für den Wärmemarkt (September 2001)[22]

Im Rahmen der am 25. Juni 2001 paraphierten KWK-Vereinbarung (vgl. Abschnitt 3.2.2.6) wurde die Chapeau-Erklärung vom 9. November 2000 für folgende Verbände in besonderer Weise spezifiziert und insgesamt auf 45 Mio. t CO_2 Emissionsreduktion erweitert:

- Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V.
- Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke e.V.

Einige Verbände, die bis dahin keine Branchenverpflichtungen eingegangen waren, haben im Nachgang zur Erklärung vom 9. November 2000 neue Selbstverpflichtungserklärungen abgegeben:

---

[21] Der Vorgängererklärung für den Bereich der Gaswirtschaft hatten sich auch noch ASUE Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V., BHKS Bundesverband Heizungs-, Klima-, Sanitärtechnik e.V., BDH Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie e.V., BVOG Bundesverband Energie und Umwelt Feuerungen e.V., FIGAWA Bundesvereinigung der Firmen im Gas- und Wasserfach e.V., DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e.V., GWT Fachverband Gas-Wärmetechnik e.V., HKI Industrieverband Haus-, Heiz- und Küchentechnik e.V. sowie ZVHSK Zentralverband Sanitär Heizung Klima e.V. angeschlossen.

[22] Der Vorgängererklärung hatten sich für den Bereich der Ölheizungen auch noch IWO Institut für wirtschaftliche Oelheizung e.V. und gdbm Gesamtverband des Deutschen Brennstoff- und Mineralölhandels e.V. angeschlossen.

- Mineralölwirtschaftsverband e.V. für die Raffinerien (September 2001)
- ZVEI Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (27. Juni 2001)
- Gesamtverband des deutschen Steinkohlenbergbaus e.V. (30. Mai 2002)

Obwohl im Rahmen der Selbstverpflichtungserklärung von 1995 eine spezifische Branchenverpflichtungen eingegangen wurde, hat dies die Wirtschaftsvereinigung Metalle e.V. (bisher) nicht erweitert.

Quantifizierung

Die Schwierigkeit einer Wirkungsschätzung für die Selbstverpflichtung der deutschen Wirtschaft liegt einerseits in ihrer nicht eindeutigen Formulierung und folgt zweitens aus der überwiegenden Bezugnahme auf die Entwicklung der spezifischen Emissionen.

Die Einzelerklärungen der Branchen beziehen sich in der Regel auf den physischen Ausstoß (Tonne Produkt). Die Erklärung enthält aber auch eine absolute Verpflichtungskomponente (20 Mio. t Äquivalente bis 2010), hieraus resultiert ein vergleichsweise ambitioniertes Ziel.

Die folgenden Überlegungen zu einer detaillierten Wirkungsabschätzung der Selbstverpflichtungen beruhen auf Untersuchungen des Öko-Instituts. Tabelle 3.2-3 zeigt die Eckdaten für die Selbstverpflichtungserklärungen mit Ausnahme der Gas- und Wasserwirtschaft sowie der Mineralwirtschaft (für den Bereich des Wärmemarkts). Für den Bereich der Elektrizitätswirtschaft wurde die Verpflichtung des VDEW von 1995 aufgenommen, die durch die am 25. Juni 2001 paraphierte KWK-Vereinbarung auf eine neue Grundlage gestellt wird.[23] Die Übersicht verdeutlicht, dass einige Verbände erheblich stärkere Selbstverpflichtungen als in der Chapeau-Erklärung eingegangen sind und teilweise sogar absolute Minderungszusagen spezifiziert haben. Einige Verbände haben jedoch auch erklärt, dass die Minderungszusagen in der Chapeauerklärung für ihre jeweiligen Branche nicht erfüllbar seien und haben geringere (spezifische) Zusagen gemacht. Die Nicht-CO_2-Treibhausgase bzw. die nicht-energiebedingten CO_2-Emissionen wurden nur für wenige Branchen eingeschlossen, wobei sie in einigen dieser Branchen (Steinkohlenbergbau, chemische Industrie, Zementindustrie) einen signifikanten Emissionsbeitrag ausmachen.

---

[23] Diese Verpflichtung gilt gleichzeitig auch für die Branchenverbände VRE Verband der Verbundunternehmen und Regionalen Energieversorger in Deutschland e.V. – als Nachfolger der ARE Arbeitsgemeinschaft regionaler Energieversorgungsunternehmen – ARE – e.V. und VdV Verband der deutschen Verbundwirtschaft e.V. –, VIK Verband der industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V. , VKU Verband kommunaler Unternehmen e.V. und BGW Bundesverband der Deutschen Gas- und Wasserwirtschaft e.V.

Tabelle 3.2-3 Selbstverpflichtungserklärung der Wirtschaft für die erfassten Branchen

Verband	WZ 93	Verpflichtungen		Anmerkungen
		spezifisch	absolut	
Bundesverband der Deutschen Industrie		2005: -28% (THG-6) 2012: -35% (THG-6)	2005: um 10 Mio t CO2 2012: um 10 Mio t CO2 +10 Mio t CO_2-Äqu. gegenüber bisheriger SVE	alle Treibhausgas-Emissionen
Gesamtverband des Deutschen Steinkohlenbergbaus	10.1		2005: -70% [Mio. t CO_2] 2012: -75% [Mio. t CO_2] 2012: -70% [Mio. t CH_4]	CO_2- und CH_4-Emissionen
Kaliverein	14.30.1	2005: -67% [t CO_2/t RS] 2012: -69,2% [t CO_2/t RS]	2005: 1,1 Mio t CO2 2012: 1,0 Mio t CO2	CO_2-Emissionen
Verein der Zuckerindustrie	15.83	2005: -41...-45% [t CO_2/t Rüben] 2012: -		CO_2-Emissionen
Gesamtverband der Textilindustrie	17	2005: -28% [t CO_2/Index] 2012: -35% [t CO_2/Index]		CO_2-Emissionen
Verband Deutscher Papierfabriken	21	2012: -35% (t CO_2/t)		CO_2-Emissionen
Mineralölwirtschaftsverband (Teilerklärung Raffinerien)	23.2	2012: -10% [t CO_2-Äqu./t] (CO_2, CH_4 und N_2O)		CO_2-, CH_4- und N_2O-Emissionen
Verband der Chemischen Industrie	24	2012: -45...-50% [t CO2-Äqu./t] (energiebed. CO_2 und N_2O)	2012: 46...50 Mio. t CO_2-Äqu.	N_2O- und energiebedingte CO_2-Emissionen
Bundesverband der Deutschen Glasindustrie und Mineralfaserindustrie	26.1	2005: -10% [t CO_2/t]		nur energiebedingte CO_2-Emissionen
Bundesverband der Feuerfest-Industrie	26.26	2005: bis zu -33% [t CO_2/t] 2012: -35% [t CO_2/t]		CO_2-Emissionen
Bundesverband keramische Fliesen und Platten	26.3	2005: -22...-26% [t CO_2/t] 2012: nahe -30% [t CO_2/t]		CO_2-Emissionen
Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie	26.4	2008/12: -28...-30% [t CO_2/t Ziegel]		CO_2-Emissionen
Verein Deutscher Zementwerke	26.51	2012: -28% [t $CO_{2,energiebed}$/t] 2012: -16% [t $CO_{2,ges}$/t]		energiebedingte CO_2-Emissionen und gesamte CO_2-Emissionen
Bundesverband der Deutschen Kalkindustrie	26.52	2005: -15% [t CO_2/t Kalk] 2012: -	-	CO_2-Emissionen
Wirtschaftsvereinigung Stahl	27.1-27.3	2005: -16...-17% [t $CO_{2,ges}$/t] 2012: -22% [t $CO_{2,ges}$/t]		CO_2-Emissionen
Wirtschaftsvereinigung Metalle (NE-Metalle)	27.4	2005: -22% [GJ/t]		Verpflichtung bezieht sich bisher nur auf spezifischen Energieverbrauch, noch keine Aktualisierung
Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie	30-33	2005: -35% [t CO_2/Index] 2012: bis zu -40% [t CO_2/Index]	2010: -10% (zu 1995) [t PFC]	CO_2- und PFC-Emissionen
Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke	40	2005: -12% [kg CO_2/kWh]	2005: -13...-17 Mio. t CO_2 (1998) 2010: -21...-30 Mio. t CO_2 (1998)	KWK-SVE als Spezifikation, eigene Schätzung des Branchen-Beitrages

Quelle: Verbände der Wirtschaft

In der Tabelle 3.2-4 sind die Daten aus den aktuellsten Branchen-Berichten im Rahmen des Monitoring der Selbstverpflichtungserklärung von 1995 (RWI 2002a+b) sowie den erneuerten bzw. neuen Selbstverpflichtungserklärungen zusammengestellt. Im Jahr 1999 wurden danach 83% der vom nationalen Inventar erfassten energiebedingten CO_2-Emissionen erfasst. Da für das Monitoring neben den Daten der amtlichen Statistik in erheblichem Maße auch Branchenstatistiken herangezogen wurden, ergeben sich bei einer differenzierteren Betrachtung jedoch erhebliche Unschärfen. Wie im Monitoring-Bericht umfangreich dokumentiert (RWI 2002a) wurden von den Branchen die amtlichen Daten teilweise als unplausibel eingeschätzt, teilweise unterscheiden sich jedoch die Branchenabgrenzungen nach amtlicher Statistik erheblich von denen der Verbandsstatistiken.[24]

[24] In der amtlichen Statistik wird die Branchenabgrenzung nach dem Schwerpunkt-Prinzip (der wirtschaftlichen Tätigkeit) vorgenommen, während die Branchenstatistiken teilweise auf die Erfassung des gesamten Produktgruppen-Umfangs abstellen.

Tabelle 3.2-4 Monitoring-Daten zur Selbstverpflichtungserklärung der Wirtschaft für die einzelnen Branchen

Verband	Erfassungsgrad der SVE	CO_2-Emissionen direkt			CO_2-Emissionen indirekt[a]			Bezugsgröße			Anmerkungen
		1990	1998	1999	1990	1998	1999	1990	1998	1999	
		Mio. t CO_2 bzw. Mio. t CO_2-Äqu.						jeweilige Bezugsgrößen			
Gesamtverband des Deutschen Steinkohlenbergbaus	100%	9,44	4,14	3,83	5,33	8,35	7,64	69,76	40,66	39,24	CO_2-Emissionen, indirekte CO_2-Emissionen aus Originalangaben errechnet, Produktionsdaten nach GVdSt
Kaliverein	99%	4,21	1,07	1,03	0,55	0,01	0,01	52,10	37,08	36,57	CO_2-Emissionen
Verein der Zuckerindustrie	100%	2,29	2,23	2,39	0,04	-0,05	-0,04	23,44	25,77	26,79	CO_2-Emissionen, Basisjahr 1990/91, Berichtsjahre jeweils 19897/98, 1998/99
Gesamtverband der Textilindustrie	95%	2,90	1,60	1,68	2,90	2,21	2,12	100,00	69,30	66,30	CO_2-Emissionen
Verband Deutscher Papierfabriken	85 - 90%	9,26	7,72	7,54	5,17	5,82	6,23	12,77	16,31	16,74	CO_2-Emissionen
Mineralölwirtschaftsverband (Teilerklärung Raffinerien)[b]	>99%	23,10	k.A.	20,70	k.A.	k.A.	k.A.	100,10	k.A.	112,70	CO_2 und CH_4, Angaben in CO_2-Äquivalenten, CH_4-Anteil 1990 nach UBA ca. 0,13 Mio. t CO_2-Äqu., 1999 ca. 0,06 Mio. t CO_2-Äqu.
Verband der Chemischen Industrie	99%	41,01	24,88	23,75	24,52	24,55	24,49	99,30	111,40	116,00	nur CO_2-Emissionen, N_2O-Anteil 1990 nach UBA ca. 25,4 Mio. t CO_2-Äqu., 1999 ca. 9,3 Mio. t CO_2-Äqu.
Bundesverband der Deutschen Glasindustrie und Mineralfaserindustrie	87,6%	4,01	3,65	3,48	2,37	2,81	2,85	6,14	7,24	7,47	Basisjahr hier 1987 statt 1990, nur energiebedingte CO_2-Emissionen
Bundesverband der Feuerfest-Industrie	65%	0,42	0,19	0,18	0,16	0,11	0,11	1,50	1,14	1,06	CO_2-Emissionen
Bundesverband keramische Fliesen und Platten	80%	0,48	0,34	0,38	0,22	0,15	0,14	1,24	1,02	1,02	CO_2-Emissionen
Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie	90 - 95%	1,92	1,66	1,75	0,49	0,59	0,60	15,82	19,71	19,44	CO_2-Emissionen
Verein Deutscher Zementwerke	96,6%	10,48 15,00	7,56 15,40	7,25 15,61	2,40	2,43	2,50	33,34	34,68	36,57	energiebedingte CO_2-Emissionen, Basisjahr 1990 aus Einzelangaben errechnet nicht-energiebedingte CO_2-Emissionen, aus Einzelangaben berechnet
Bundesverband der Deutschen Kalkindustrie	95%	3,05	2,53	2,45	0,17	0,16	0,16	7,13	6,62	6,63	energiebedingte CO_2-Emissionen
Wirtschaftsvereinigung Stahl	88,2%	61,64	53,77	49,75	8,24	8,29	7,96	33,46	34,56	33,75	CO_2-Emissionen
Wirtschaftsvereinigung Metalle (NE-Metalle)	80%	2,77	2,71	2,65	11,82	11,25	11,47	6,14	7,23	7,31	energiebedingte CO_2-Emissionen
Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie[b]	k.A.	k.A.	1,56	1,41	k.A.	k.A.	k.A.	48,89	53,25	55,63	CO_2-Emissionen, Berechnungen auf Basis von Daten des Statistischen Bundesamtes, Basisjahr für Index 1991 statt 1990
Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke	99%	289,00	266,00	258,00	-	-	-	431,3	458,1	460,0	CO_2-Emissionen, Bereinigung für umgruppierte Industriekraftwerke, Emissionsdaten nach VDEW, Produktionsdaten nach BMWi und AGEB
Summe CO_2		480,9	397,0[c]	403,8	64,37	66,69	66,23				
Summe energiebedingtes CO_2		465,9	381,6[c]	388,2	64,37	66,69	66,23				
Summe energiebedingtes CO_2 ohne Elektrizitätsversorgung		176,9	115,6[c]	130,2	-	-	-				
nachrichtlich: energiebedingtes CO_2 nach nationalem Inventar											
Energieindustrie und Industrie		609,4	484,8	467,2							
nachrichtlich: nicht-energiebedingtes CO_2 nach nationalem Inventar											
gesamt		27,7	25,6	26,0							
Mineralische Produkte		24,7	23,1	23,5							
Andere Prozesse		3,0	2,5	2,5							
Erfassung SVE für energiebedingtes CO_2		76%	79%	83%							
Erfassung SVE für nicht-energiebedingtes CO_2 (gesamt)		54%	60%	60%							
Erfassung für nicht-energiebedingtes CO_2 (Mineralische Produkte)		61%	67%	66%							

Anmerkungen: [a] Nettofremdstrombezug mit Emissionsfaktor der öffentlichen Stromversorgung für 1990 bewertet. - [b] (noch) keine Daten für indirekte Emissionen aus Selbstverpflichtung oder Monitoring verfügbar. - [c] Vergleich mit 1990 und 1999 wegen unterschiedlicher Abrenzung (fehlende Daten für Mineralölraffinerien) nicht sinnvoll

Quelle: RWI, Berechnungen des Öko-Instituts

In der Tendenz ergeben sich sowohl in der Summe als auch bei den meisten Branchen rückläufige direkte CO_2-Emissionen für den Zeitraum 1990 bis 1999. Insgesamt sind die direkten CO_2-Emissionen der erfassten Branchen von ca. 481 Mio. t CO_2 im Jahr 1990 auf etwa 404 Mio. t CO_2 im Jahr 1999, d.h. um ca. 16% zurückgegangen. Werden nur die energiebedingten CO_2-Emissionen betrachtet, so beträgt der Rückgang 16,6%. Die CO_2-Emissionen der Industrie außerhalb der öffentlichen Stromversorgung belaufen sich auf 26,4%, in der öffentlichen Stromversorgung auf 10,7%.

Das Phänomen der in der öffentlichen Stromversorgung in deutlich geringerem Maße zurückgegangenen Emissionen erklärt sich teilweise aus einer Analyse der gesamten Emissionsent-

wicklung. Die Selbstverpflichtungserklärungen beziehen sich letztlich auf die gesamten direkten und indirekten CO_2-Emissionen, d. h. auch die Emissionen aus dem Netto-Fremdstrombezug werden (mit einem konstanten Emissionsfaktor) bewertet. Die indirekten CO_2-Emissionen der Industrie (also aller Branchen jenseits der öffentlichen Stromversorgung) sind im Rahmen der beim Monitoring genutzten Methode im Zeitraum 1990 bis 1999 von ca. 64 auf 66 Mio. t CO_2 angestiegen, d.h. über die Ausweitung des Nettofremdstrombezugs im wesentlichen in die öffentliche Stromversorgung „verschoben“ worden. Bei näherer Analyse ergibt sich jedoch, dass dies im Gesamtvolumen im Wesentlichen auf einige einzige Branche (Steinkohlenbergbau) zurückzuführen ist. In der Tendenz sind aber auch in vielen anderen Branchen die indirekten CO_2-Emissionen mehr oder weniger stark angestiegen. Ein signifikanter Rückgang der indirekten CO_2-Emissionen bildet eher den Ausnahmefall (Kali-, Zucker, Papier- und Stahlindustrie).

Tabelle 3.2-5 zeigt die Entwicklung der spezifischen CO_2-Emissionen für die unterschiedlichen Branchen sowohl für die gesamten erfassten CO_2-Emissionen (direkte und indirekte Emissionen) sowie nur die direkten CO_2-Emissionen. Außer dem Steinkohlenbergbau (wegen der besonderen Entwicklung bei den durch Nettofremdstrombezug verursachten indirekten Emissionen) zeigt sich für alle Branchen eine mehr oder weniger stark ausgeprägte rückläufige Tendenz. Für die meisten Branchen ist dabei der Rückgang der direkten spezifischen Emissionen stärker als derjenige der gesamten spezifischen Emissionen.

Bei den Branchen, bei denen die Selbstverpflichtung auch Nicht-CO_2-Treibhausgase umfasst, dominiert dennoch der Einfluss der CO_2-Entwicklung. Während die Berücksichtigung der CH_4-Emissionen für die Raffinerien nur einen sehr geringen Einfluss auf den Rückgang der Treibhausgasemissionen hatte, verlief die Minderung der N_2O-Emissionen in der chemischen Industrie stärker als die der CO_2-Emissionen, so dass sich hier bis 1999 eine Verstärkung der spezifischen Emissionsreduktion um 9 Prozentpunkte ergibt.

Tabelle 3.2-5 Spezifische Emissionen zur Selbstverpflichtungserklärung der Wirtschaft

Verband	Spez. Emissionen					Spez. Emissionen direkt					Anmerkungen
	1990	1998	1999	1998	1999	1990	1998	1999	1998	1999	
	kg CO_2/Bezugsgröße			zu 1990		kg CO_2/Bezugsgröße			zu 1990		
Gesamtverband des Deutschen Steinkohlenbergbaus	0,212	0,307	0,292	45%	38%	0,135	0,102	0,098	-25%	-28%	CO_2-Emissionen
Kaliverein	0,091	0,029	0,028	-68%	-69%	0,081	0,029	0,028	-64%	-65%	
Verein der Zuckerindustrie	0,099	0,085	0,088	-15%	-12%	0,098	0,087	0,089	-12%	-9%	
Gesamtverband der Textilindustrie	0,058	0,055	0,057	-5%	-1%	0,029	0,023	0,025	-20%	-13%	
Verband Deutscher Papierfabriken	1,130	0,830	0,823	-27%	-27%	0,725	0,473	0,451	-35%	-38%	
Mineralölwirtschaftsverband	0,229	k.A.	0,183	k.A.	-20%	0,229	k.A.	0,183	k.A.	-20%	CO_2-Emissionen
(Teilerklärung Raffinerien)[a]	0,231	k.A.	0,184	k.A.	-20%	0,231	k.A.	0,184	k.A.	-20%	CO_2 und CH_4-Emissionen
Verband der	0,660	0,444	0,416	-33%	-37%	0,413	0,223	0,205	-46%	-50%	energiebedingte CO_2-Emissionen
Chemischen Industrie[b]	0,916	0,650	0,496	-29%	-46%	0,669	0,430	0,285	-36%	-57%	energiebedingte CO_2- und N_2O-Emissionen
Bundesverband der Deutschen Glasindustrie und Mineralfaserindustrie	1,040	0,892	0,849	-14%	-18%	0,654	0,504	0,466	-23%	-29%	
Bundesverband der Feuerfest-Industrie	0,387	0,267	0,274	-31%	-29%	0,279	0,170	0,174	-39%	-38%	
Bundesverband keramische Fliesen und Platten	0,567	0,477	0,512	-16%	-10%	0,390	0,329	0,376	-16%	-4%	
Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie	0,152	0,114	0,121	-25%	-21%	0,121	0,084	0,090	-31%	-26%	
Verein Deutscher Zementwerke	0,386	0,288	0,267	-25%	-31%	0,314	0,218	0,198	-31%	-37%	energiebedingte CO_2-Emissionen
	0,836	0,732	0,694	-12%	-17%	0,764	0,662	0,625	-13%	-18%	gesamte CO_2-Emissionen
Bundesverband der Deutschen Kalkindustrie	0,452	0,407	0,393	-10%	-13%	0,428	0,383	0,370	-11%	-14%	energiebedingte CO_2-Emissionen
Wirtschaftsvereinigung Stahl	2,089	1,796	1,710	-14%	-18%	1,843	1,556	1,474	-16%	-20%	
Wirtschaftsvereinigung Metalle (NE-Metalle)	2,378	1,931	1,933	-19%	-19%	0,451	0,375	0,362	-17%	-20%	energiebedingte CO_2-Emissionen
Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	
Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke	0,670	0,581	0,561	-13%	-16%	0,670	0,581	0,561	-13%	-16%	

Anmerkungen: [a] Entwicklung der CH4-Emissionen nach nationalem Inventar; da Daten zum Nettofremdstrombezug aus den Daten zur Selbstverpflichtung nicht verfügbar waren, keine gesonderte Ausweisung der direkten Emissionen möglich. - [b] Entwicklung der N_2O-Emissionen nach nationalem Inventar

Quelle: RWI, Umweltbundesamt, Berechnungen des Öko-Instituts

Im Vergleich zu den in der Nachfolge zur Selbstverpflichtungserklärung vom 9. November 2000 eingegangenen Branchenverpflichtungen ergibt der erreichte Stand der Emissionsminderung ein uneinheitliches Bild (Abbildung 3.2-1[25]):

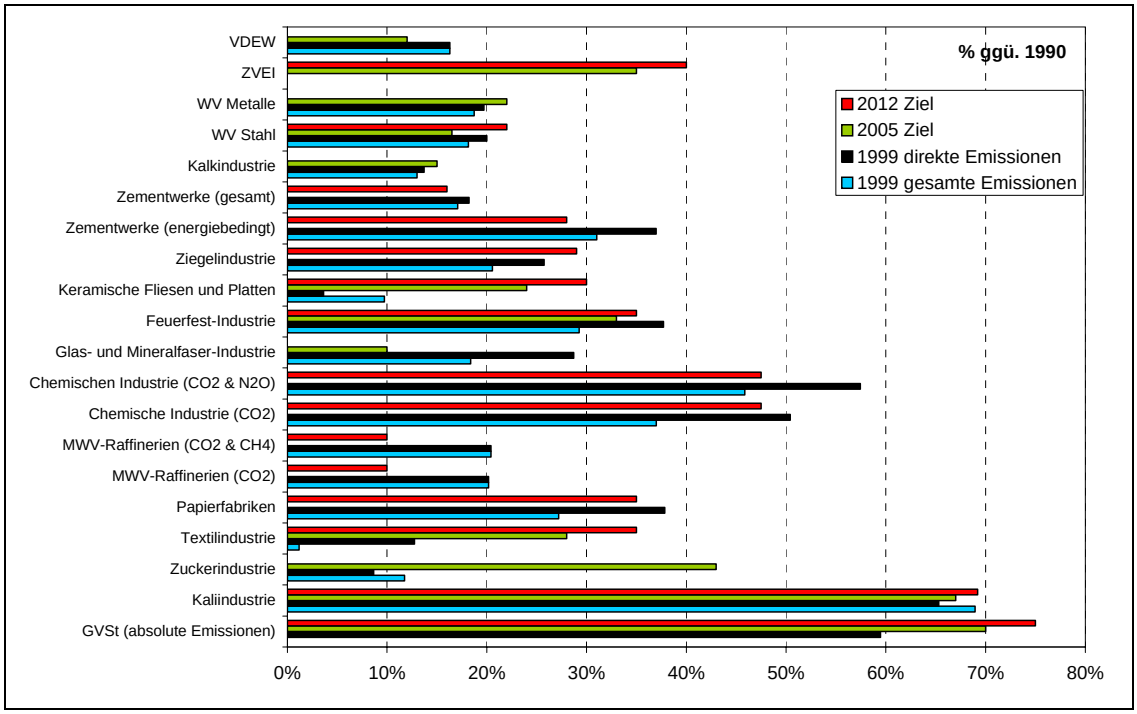
- Für die meisten Branchen war bereits 1999 ein Stand erreicht worden, dass die erzielten spezifischen Emissionsminderungen für die direkten Emissionen bzw. die gesamten Emissionen sehr nahe bei den für 2005 und 2012 eingegangenen Verpflichtungen lagen oder diese sogar schon überschritten hatten.
- Nur wenige Branchen (Zucker, Textil, Keramische Fliesen und Platten, Ziegel, Steinkohlenbergbau) haben für die Erreichung der Zielverpflichtungen noch deutliche Minderungsfortschritte zu erzielen.

Da einige Branchen (noch) keine Ziele für 2012 eingegangen sind und andere Branchen für 2005 keine Ziele mehr definiert haben, die Entwicklung der Emissionsminderungen bei den

[25] Sofern die Selbstverpflichtungen Bandbreiten enthalten, wurden in der Abbildung die jeweiligen Mittelwerte gezeigt. Für diejenigen Branchen, bei denen sich die Minderungszusagen auf mehrere Treibhausgase beziehen (Raffinerien, Chemische Industrie) werden zur Illustration die Verpflichtungen auch im Vergleich zu den CO_2-Emissionen gezeigt.

indirekten CO_2-Emissionen teilweise erheblich von der bei den direkten CO_2-Emissionen abweicht und Nicht-CO_2-Treibhausgase ggf. signifikant zur erzielten Emissionsminderung beitragen, kann die Ableitung von absoluten Minderungszielen aus der Selbstverpflichtungserklärung nur mit zusätzlichen Annahmen erfolgen.

Abbildung 3.2-1 Erzielte Emissionsminderungen und Minderungsziele für spezifische Emissionen, 1999 bzw. 2005 und 2012



Quelle: RWI, Umweltbundesamt, Berechnungen des Öko-Instituts

Vor dem Hintergrund der Tatsache, dass die gesamten spezifischen CO_2-Minderungen oft nur geringere Emissionsminderungen zeigen (also Emissionen in den Bereich der öffentlichen Elektrizitätsversorgung verschoben wurden), wurden folgende Vereinfachungen getroffen:

- Ausgehend von der Emissionsminderung bei den gesamten Emissionen wurde die verbleibende spezifische Emissionsminderung ermittelt (distance to target).
- Sofern die bereits erzielten spezifischen Emissionswerte die Verpflichtungswerte bereits übertreffen, wurden die Ist-Werte für 1999 verwendet.
- Sofern Minderungszusagen nur für das Jahr 2012 vorliegen, wurden die Werte für 2005 über eine lineare Interpolation ermittelt.

- Sofern Minderungszusagen nur für den Zeithorizont 2005 vorliegen, wurden diese für 2012 - unter Beachtung der o.g. Annahme in Bezug auf bereits erzielte Minderungen - unverändert übernommen.
- Die Umrechnung der spezifischen Emissionsminderungen in absolute Emissionsmengen wurde auf Grundlage der Aktivitätsniveaus von 1999 vorgenommen.

Tabelle 3.2-6 zeigt die Ergebnisse der entsprechenden Modellrechnung für die Zeithorizonte 2005 und 2012.[26]

Auf Basis konstanter Aktivitäten ergibt sich damit eine Minderung der CO_2-Emissionen auf 382 Mio. t CO_2 bis zum Jahr 2005 sowie von 378 Mio. t bis zum Jahr 2012. Dies entspricht im Vergleich zu 1999 einer Minderung der direkten CO_2-Emissionen von zusätzlich 22 Mio. t bis 2005 sowie von 26 Mio. t bis 2012. Bezogen auf 1990 ergeben sich Minderungssätze von 21 %.

Das Emissionsvolumen für die energiebedingten CO_2-Emissionen beläuft sich auf 368 Mio. t bis 2005 und 364 Mio. t bis 2012. Auf Basis der Emissionen von 1999 entspricht dies einer zusätzlichen Minderung von 20 bzw. 24 Mio. t CO_2 für den Zeithorizont 2005 bzw. 2012 oder – bezogen auf 1990 – einer Minderung von 21 bzw. 22 %.

Für die öffentliche Elektrizitätsversorgung resultiert aus der Verpflichtung vom 9. November 2000 zunächst eine Minderung von 16 Mio. t CO_2 im Vergleich zu 1999. Für die nicht-energiebedingten CO_2-Emissionen lässt sich aus der Erklärung der Zementindustrie eine Minderungszusage von 6 % bis zum Jahr 2005 bzw. 2012 errechnen.

Für den in diesem Kapitel interessierenden Teil der Selbstverpflichtungen ohne die Verpflichtungen der Stromwirtschaft und ohne nicht-energiebedingte CO_2-Emissionen, ergibt sich eine Reduzierung von 8,4 Mio. t energiebedingtes CO_2 bis 2012.

Sofern allerdings für die Mehrheit der Branchen signifikante Wachstumsprozesse unterstellt werden, verringern sich die absoluten CO_2-Minderungen erheblich. Im Ergebnis ist dann eher eine Stabilisierung der Emissionen zu erwarten.

---

[26] Dabei bleibt darauf hinzuweisen, dass die Elektro- und Elektronikindustrie mangels vorliegender Monitoring-Daten für die Ermittlung absoluter Emissionsvolumina nicht berücksichtigt werden konnte.

Tabelle 3.2-6 Projektion absoluter Emissionsziele auf Grundlage der Aktivitätsniveaus von 1999

Verband	Zielwerte CO_2 direkt						Anmerkungen
	2005	2012	2005	2012	2005	2012	
	Mio. t CO_2 bzw. Mio. t		% zu 1990		Mio. t CO_2 zu 1999		
Gesamtverband des Deutschen Steinkohlenbergbaus	2,8	2,4	-70,0%	-75,0%	-1,0	-1,5	Verpflichtung zu absoluter Emissionsminderung
Kaliverein	1,3	1,3	-68,9%	-69,2%	0,3	0,3	
Verein der Zuckerindustrie	1,3	1,3	-43,0%	-43,0%	-1,1	-1,1	
Gesamtverband der Textilindustrie	2,1	1,9	-28,0%	-35,0%	0,4	0,2	
Verband Deutscher Papierfabriken	6,7	6,0	-27,2%	-35,0%	-0,8	-1,5	
Mineralölwirtschaftsverband (Teilerklärung Raffinerien)	18,4	18,4	-20,2%	-20,2%	-2,3	-2,3	CO_2 und CH_4, wegen untergeordneter Bedeutung von CH_4 keine Bereinigung für CH_4
Verband der Chemischen Industrie	25,5	25,2	-37,7%	-38,6%	1,8	1,4	Bereinigung um bis 1999 erzielte Emissionsminderung bei N_2O
Bundesverband der Deutschen Glasindustrie und Mineralfaserindustrie	3,3	3,3	-18,4%	-18,4%	-0,2	-0,2	
Bundesverband der Feuerfest-Industrie	0,3	0,3	-33,0%	-35,0%	0,1	0,1	
Bundesverband keramische Fliesen und Platten	0,4	0,3	-24,0%	-30,0%	0,0	0,0	
Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie	1,5	1,4	-24,5%	-29,0%	-0,3	-0,4	
Verein Deutscher Zementwerke	7,2 21,1	7,2 21,1	-31,0% -17,1%	-31,0% -17,1%	0,0 5,5	0,0 5,5	energiebedingte CO_2-Emissionen gesamte CO_2-Emissionen
Bundesverband der Deutschen Kalkindustrie	2,6	2,6	-15,0%	-15,0%	0,1	0,1	
Wirtschaftsvereinigung Stahl	50,5	48,1	-18,2%	-22,0%	0,7	-1,7	
Wirtschaftsvereinigung Metalle (NE-Metalle)	2,2	2,2	-22,0%	-22,0%	-0,5	-0,5	
Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie[a]	-	-	-35,0%	-40,0%	-	-	
Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke	241,9	241,9	-16,3%	-16,3%	-16,1	-16,1	
Summe CO_2	381,9	377,6	-20,6%	-21,5%	-21,9	-26,2	
Summe energiebedingtes CO_2	368,0	363,7	-21,0%	-21,9%	-20,2	-24,4	
Summe nichtenergiebedingtes CO_2	13,9	13,9	-7,3%	-7,3%	-1,7	-1,7	
Summe energiebedingtes CO_2 ohne Elektrizitätsversorgung	126,1	121,8	-28,7%	-31,1%	-4,1	-8,4	
Anmerkungen: [a] (noch) keine Emissionsdaten aus Selbstverpflichtung oder Monitoring verfügbar							

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

Abgrenzung

Die Selbstverpflichtung der deutschen Wirtschaft vom Jahr 2000 (mit ihrer Erweiterung von 2001) ist, wie auch die Vorgängererklärung vom Jahr 1996 schwierig zu evaluieren, da sie viele Unklarheiten und Überschneidungen enthält, insbesondere mit der Selbstverpflichtung der Wirtschaft zur Förderung der KWK, da die Stromwirtschaft in beiden Selbstverpflichtungen einbezogen wurde, und im Nachfeld der KWK-Selbstverpflichtung nicht geklärt wurde, welche Maßnahmen und Akteure in welcher Selbstverpflichtung inbegriffen sind. Des Weiteren gibt es auch Überschneidungen bei den Selbstverpflichtungen, welche auf die Produkte der Kunden abzielen (Gas- und Ölwirtschaft, Stromwirtschaft). mit den Verpflichtungen der industriellen Kunden selbst. Derartige Überschneidungen sind allerdings schwierig

zu quantifizieren. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass im Industriesektor neben der Selbstverpflichtung auch andere Maßnahmen greifen, wie zum Beispiel die Ökosteuer, die (trotz des reduzierten Steuersatzes) nicht unerhebliche Einsparungen bringen. Die Wirkungen solcher Maßnahmen sind natürlich in den Selbstverpflichtungen „enthalten“, da letztere sich auf den spezifischen Energieeinsatz vor der Einführung anderer Maßnahmen beziehen. Die vom Öko-Institut auf Basis konstanter Aktivitätsniveaus errechneten 4,6 Mio. t energiebedingtes CO_2 (ohne Stromwirtschaft, Steinkohlebergbau und Mineralölwirtschaft, welche dem Umwandlungssektor zuzurechnen sind und nicht dem Industriesektor) müssen daher deutliche Abschläge erfahren, um mögliche Doppelzählungen durch Wirkungen der anderen Maßnahmen im Industriesektor, welche auf den gleichen Bereich wirken wie die Selbstverpflichtungen, zu berücksichtigen[27]. Diese konservative Abschätzung der Korrekturen (ohne Berücksichtigung von Wachstumsprozessen) vermindert den vom Öko-Institut errechneten Ausgangswert der Reduktion der Emissionen im Industriesektor auf einen Wert um 2,5-3 Mio. t energiebedingtes CO_2 bis 2010 (direkte Emissionen); ohne Selbstverpflichtung der Branchen, welche dem Umwandlungssektor zuzurechnen sind). Die Berücksichtigung von Doppelzählungen würde die genannte Emissionsminderung weiter schmälern. Bei Berücksichtigung von Wachstumsprozessen bis 2010 würden die Emissionen sogar um 2 Mio. t ansteigen (Öko-Institut 2003). Die Minderungsverpflichtungen der Zementindustrie für die nicht-energiebedingten CO_2-Emissionen werden im Kapitel 3.11.2 behandelt.

3.2.2.6 Selbstverpflichtung der Wirtschaft und weitere Maßnahmen zur Förderung der industriellen KWK

KWK ist die gleichzeitige Umwandlung von eingesetzter Energie in elektrische Energie und in Nutzwärme in einer ortsfesten technischen Anlage (Kraft-Wärme-Kopplung). Im Vergleich zu anderen konventionellen Formen der getrennten Strom- und Wärmerzeugung bietet die KWK einen energetischen Vorteil durch Nutzung der bei der Stromerzeugung automatisch anfallenden Wärme (Kuppelproduktion und hohe Brennstoffnutzungsgrade). Damit ist sie oftmals umweltfreundlicher, da sie typischerweise gegenüber der konventionellen getrennten Erzeugung niedrigere CO_2-Emissionen und einen geringeren Primärenergieverbrauch auf-

[27] Ca. 2,2 Mio. t für die Ökosteuer, wobei hier nur für den Prozesswärmebereich Überschneidungen angenommen wurden; für den Raumwärmebereich, der allerdings im Industriesektor keine sehr bedeutende Rolle spielt wurde angenommen, dass es zu keinen Überschneidungen kommt, da solche Maßnahmen in den Selbstverpflichtungen von 2001 nicht aufgeführt sind; daher dürfte die Überschneidung nicht vollständig, aber doch sehr weitgehend sein. Die Auswirkungen den EnEV im Industriesektor wurden, da nur auf den Raumwärmebereich wirkend, beim Ausschluss von Doppelzählungen ebenfalls nicht betrachtet.

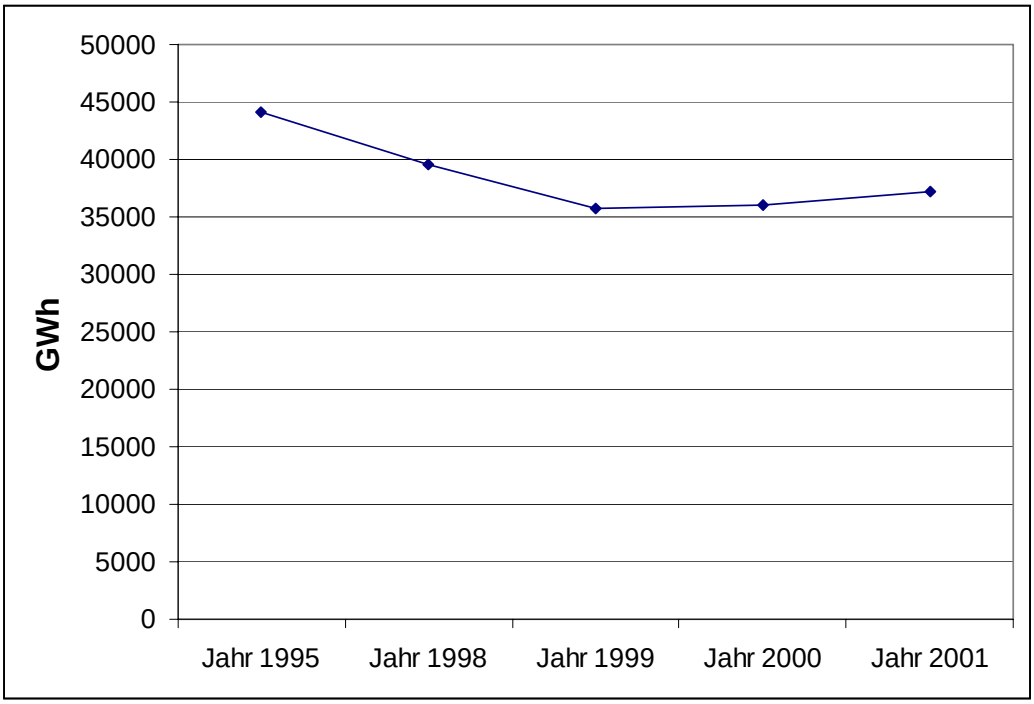
weist. Die KWK ist allerdings nur unter bestimmten Voraussetzungen – i.d.R. bei hohen Volllaststundenzahlen und verbrauchernaher Installation – wirtschaftlich.

Kraft-Wärme-Kopplung findet überall dort ihren Einsatz, wo zeitgleich ein Bedarf an thermischer und mechanischer Energie besteht. Typischerweise finden sich solche Potenziale in verschiedenen Industriezweigen und Dienstleistungsbranchen, die überwiegend für den eigenen Bedarf produzieren. In der Industrie sank der Anteil der aus KWK-Anlagen produzierten Strommenge vor und nach der Liberalisierung der Strommärkte von 44,2 TWh im Jahr 1995 auf 35,6 TWh im Jahr 1999 (Abbildung 3.2-2).

Dieser Rückgang der Strom- und Wärmeerzeugung auf Basis von industriellen Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen seit der Liberalisierung ist auf das deutliche Absinken der Strompreise für Industriekunden (Abbildung 3.2-3) zurückzuführen. Durch die Möglichkeit des günstigeren Strombezuges und der Möglichkeit den Wärmebedarf über Kesselkapazitäten, die in vielen Unternehmen in ausreichendem Umfang zur Verfügung stehen, abzudecken, war der Betrieb von einigen industriellen KWK-Anlagen nicht mehr wirtschaftlich. Seit 1999 hat sich die Stromerzeugungsmenge allerdings auf dem niedrigeren Niveau stabilisiert bzw. sie weist wieder eine leicht steigende Tendenz auf. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Marktbereinigung weitgehend abgeschlossen ist, die Industriestrompreise seit 2000 eine leicht steigende Tendenz aufweisen und gesetzliche Maßnahmen zur Förderung der KWK gegriffen haben, die im Folgenden beschrieben werden.

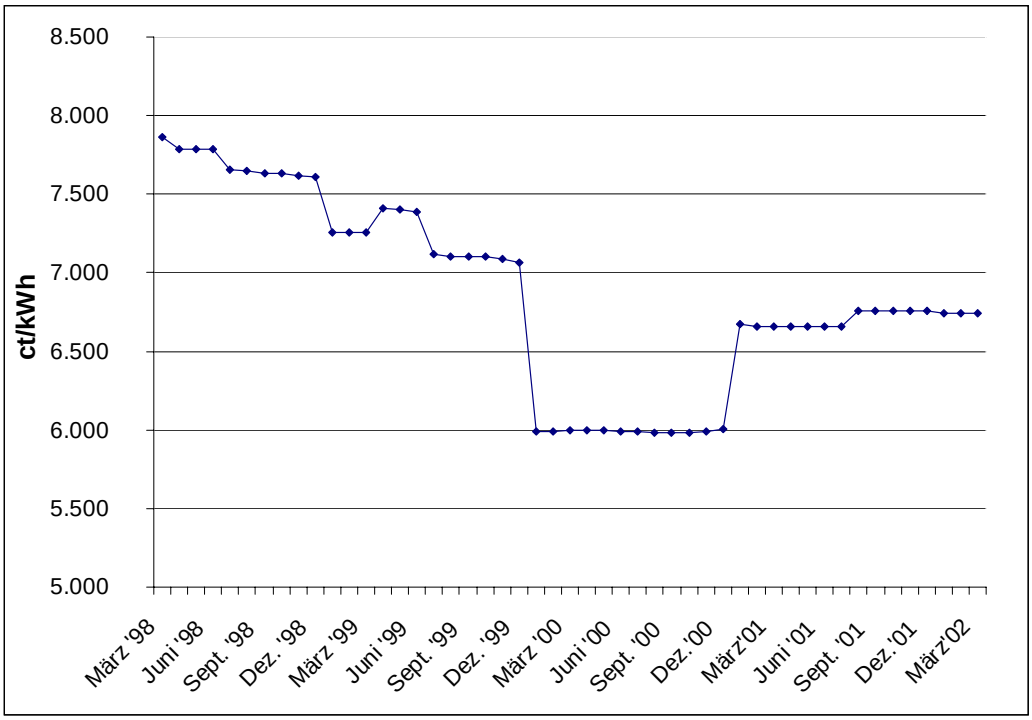
Insgesamt weisen Studien zu KWK ein enormes künftiges Ausbaupotenzial im industriellen Bereich auf (Starrmann, F. 2001; future cogen 1999; AGFW 2001). Bis 2005 könnte sich theoretisch der Anteil der Wärmeabdeckung in der Industrie durch KWK-Anlagen verdreifachen (siehe AGFW 2001); unter Einbezug von Wirtschaftlichkeitsüberlegungen ist allerdings eher von einer möglichen Verdopplung auszugehen (siehe hierzu die Ausführungen in Kapitel 5.2.2.3).

Abbildung 3.2-2 Stromerzeugung aus industriellen KWK-Anlagen (bei gleichzeitiger Wärmeauskopplung und bei reinem Kondensationsbetrieb, Anlagen über 1 MW)



Quelle VIK 2002, Statistisches Bundesamt 2002

Abbildung 3.2-3 Entwicklung des durchschnittlichen Industriestrompreises



Anm.: Preise ohne MWSt. Ab Januar 2001: Preise inkl. der Mehrbelastungen aus KWKG und EEG. Zum VIK-Strompreisindex wurde die Stromsteuer addiert.

Quelle VIK 2003

Am 25.06.2001 wurde die *Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundsrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Minderung der CO_2–Emissionen und der Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung in Ergänzung zur Klimavereinbarung vom 09.11.2000*[28] abgegeben. Diese Vereinbarung, die zwischen der Bundesregierung und der Wirtschaft/Energiewirtschaft[29] enthält die Konkretisierung zur absoluten CO_2-Reduktion um 45 Mio. t CO_2 bis 2010. Davon soll durch Förderung der KWK (einschl. kleiner BHKW und der Markteinführung von Brennstoffzellen) ein Minderungsziel von möglichst 23 Mio. t CO_2 mit Bezug auf das Basisjahr 1998, jedenfalls nicht unter 20 Mio. t CO_2 erreicht werden. Zusätzliche 25 Mio. t. CO_2 sollen durch weitere, konkret genannte Maßnahmen erzielt werden.

Nach dieser Selbstverpflichtungserklärung sollen 9 Mio. t CO_2 durch die Stromwirtschaft und industrielle Kraftwirtschaft über den im Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz abgedeckten Bereich hinausgehend erbracht werden - dieser soll an den 20 bis 23 Mio. t CO_2 –Einsparung durch KWK einen Anteil von 11 Mio. t erreichen[30].

Nach den Ausführungen in IG BCE (2000) wird mit Rückgriff auf eine Studie des EWI 2000 ein Beitrag von 9 Mio. t CO_2 –Emissionsminderung bis 2010 bezogen auf das Basisjahr 1998 durch den *marktorientierten KWK-Ausbau und Umstrukturierung im industriellen und kommunalen Bereich* erwartet[31]. Dabei wird die herausgehobene Stellung des autonomen Ausbaus der KWK im industriellen Bereich unter Kostengesichtspunkten betont. Der Ausbau soll ab dem Jahre 2005 verstärkt vorangehen, wobei schwerpunktmäßig größere industrielle Anlagen davon betroffen sind. Die prognostizierten Minderungen an CO_2 –Emissionen werden u.a. auf die Erhöhung der Stromkennziffer bei Ersatz alter Anlagen durch neue, speziell bei Ersatz von Dampfturbinen durch GuD-Anlagen bzw. Erweiterung von Dampfturbinen zu GuD-Anlagen und die steigende Substitution von Steinkohle durch Gas als Energieträger bei KWK-Anlagen zurückgeführt.

---

28 Siehe Selbstverpflichtung der Wirtschaft zur Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung 2001.

29 Von Seiten der Wirtschaft haben unterzeichnet: Bundesverband der Deutschen Industrie, Verband der Elektrizitätswirtschaft, Verband der deutschen Verbundwirtschaft, Verband der kommunalen Unternehmen, Bundesverband der Deutschen Gas- und Wasserwirtschaft und Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft.

30 Nach Berechnungen der Arbeitsgruppe, die das Eckpunktepapier für KWK-Gesetz formuliert hat, werden die Bonus-Regelungen bis 2010 eine Ausweitung der KWK-Stromproduktion auf rund 55 TWh/a und damit eine zusätzliche CO2-Minderung von 11 Mio. t/a bewirken (siehe RWE 2002).

31 „Der selbstlaufende Umstrukturierungsprozess, z.B. in der chemischen Industrie, wird dazu führen, dass bei produktionsorientierter Wärmeabgabe über höhere Stromkennziffern mehr Strom erzeugt wird. Im Ergebnis wird eine Emissionsminderung von gut 9 Mio. t CO_2 /a erwartet“ (IG BCE 2000).

Andere Studien stützen die Ausführungen des EWI, dass ein autonomer Ausbau der industriellen KWK-Anlagen in den nächsten Jahren wahrscheinlich sein wird (siehe Starrmann 2001, future cogen 1999 und AGFW 2001).

Auch ein Papier der großen deutschen Stromversorger, das ein wichtige Grundlage für die Selbstverpflichtung der Wirtschaft zur Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung gebildet hat, weist für den Bereich des Baus neuer KWK-/GuD-Anlagen einen CO_2–Minderungsbetrag von 9 Mio. t im Jahre 2010 auf, der unter den heutigen bestehenden Ordnungsrahmen marktgetrieben erreicht wird (siehe RWE 2001). Eine Differenzierung zwischen KWK- und GuD-Anlagen im Kondensationsbetrieb wird allerdings ebenso wenig vorgenommen wie eine Aufteilung der Einsparungen zwischen den Sektoren Energiewirtschaft und Industrie.

Aus den Auswertungen der vorliegenden Studien sowie der Aussagen aus der Industrie lässt sich der Schluss ziehen, dass der industrielle Ausbau der KWK künftig signifikant zur CO_2-Minderung beitragen wird. Der Ausbau wird aber primär aufgrund von Wirtschaftlichkeitsüberlegungen stattfinden. Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass sich die Wirtschaftlichkeit der industriellen KWK gegenüber einem Fremdbezug u.a. durch das EEG, das KWK-Gesetz und die ökologische Steuerreform weiter verbessern wird, was weiter unten noch diskutiert wird. Ein sehr bedeutsamer, darüber hinausgehender, zusätzlicher Beitrag durch die Selbstverpflichtung wird nach den bisherigen Einschätzungen nicht gesehen. Dieser könnte grob geschätzt in der Größenordung zwischen 0 bis 1 Mio. t CO_2 liegen[32], wobei für den Zeitraum nach 2010 keine Änderung prognostiziert wird.

Die Strompreise für Industriekunden bestimmen wesentlich die Wirtschaftlichkeit der industriellen KWK-Anlagen. Strompreiserhöhend – und damit sich günstig für die Wirtschaftlichkeit von KWK-Anlagen auswirkend – ist eine Reihe von aktuellen Gesetzesvorhaben: Insbesondere sind hier zu nennen die Ökosteuer[33] mit ihrer Stromsteuer sowie das Erneuerbare

---

[32] In der Übersicht 3.2.-1 wird dieser Wert zusammen mit der weiter unten aufgeführten CO_2–Einsparung der anderen Instrumenten der KWK-Förderung ausgewiesen. Dieser wird dem Stromsektor zugeordnet (und deshalb nachrichtlich angegeben), weil nach der gewählten Aufteilung zwischen den Kuppelprodukten Strom und Wärme, die in Kapitel 5.2.2.3 ausführlich dargestellt ist, die Einsparungen überwiegend dem Stromsektor zuzuordnen sind.

[33] Siehe zur ausführlichen Darstellung des Gesetzes Abschnitt 3.2.2.2.

Energien-Gesetz (EEG)[34] und das Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG) mit ihrer Umlage der Fördersumme auf die Strompreise.

Für eine erste Abschätzung der möglichen Strompreiserhöhung aufgrund des EEG wird folgender Weg eingeschlagen: Mit Hilfe der Vergütungssätze des EEG und der festgelegten Degression wird die Entwicklung der Einspeisevergütung bis zum Jahre 2010 errechnet. Bei unterschiedlichen Vergütungssätzen nach Anlagengröße und -alter werden Mittelwerte angenommen. Die Energiemengen je erneuerbaren Energieträger ergeben sich auf Basis der Abschätzung aus Kapitel 3.10. Der Verlauf der Zunahme der Einspeisung aus erneuerbaren Energien wird mit den Einspeisungsvergütungen des jeweiligen Jahres multipliziert und somit die Fördersumme des Jahres 2010 errechnet. Dann wird die errechnete nominale jährliche Fördersumme mit einer Inflationsrate von 2 % in einen realen Wert umgerechnet. Unter der Annahme, dass diese Summe auf 500 TWh umgelegt wird, führt das EEG zu einer Strompreiserhöhung von 0,56 ct/kWh (Anfang 2003 lag der Wert bei 0,2 ct/kWh). Dieser Wert ist allerdings nur eine stark vereinfachte Abschätzung, da der Preiserhöhung u. a. vermiedene Brennstoffkosten gegengerechnet werden müssten. Weiterhin sind die Auswirkungen auf die Netznutzungsentgelte und die Reservehaltung nicht berücksichtigt worden[35]. Auch außer Betracht gelassen wurde dabei, dass die EEG-Fördersumme vom Letztversorger[36] gegebenenfalls nicht gleichmäßig auf alle Kundengruppe verteilt wird, sondern dass insbesondere Haushaltskunden aufgrund ihrer bisher gezeigten geringen Wechselbereitschaft stärker belastet werden als die Kundengruppen, um die ein wesentlich intensiverer Wettbewerb geführt wird.

Krzikalla (2002) kommt in einer Studie zur Höhe der Belastung der Endkunden durch das EEG – bei unterstelltem Ausbau von EEG-geförderten Anlagen in einer ähnlichen Größenordnung wie die in Kapitel 3.10 genannten Werte - zu einer Preiserhöhung von 0,640 ct/kWh[37] im Jahre 2010. Festzuhalten bleibt damit, dass das EEG bei dem angenommenen

---

34 Siehe zur ausführlichen Darstellung des Gesetzes Kapitel 3.10.

35 Diese Einschränkungen haben allerdings nach Angaben aus Krzikalla 2002 keine sehr gravierenden Auswirkungen und heben sich teilweise gegenseitig auf. Siehe auch Tauber 2002.

36 § 11 des EEG: Bundesweites Ausgleichsverfahren: Die Betreiber der Übertragungsnetze sind verpflichtet, die nach §3 abzunehmenden Energiemengen und Vergütungszahlungen zu erfassen und untereinander auszugleichen.

37 Dies stellt allerdings in der genannten Studie das Szenario mit dem maximal unterstellten Ausbau an EEG-Anlagen dar. Bei der dort angenommenen Referenzentwicklung für den Ausbau von EEG-geförderten Anlagen wird ein EEG-Unlage-Preis von 0,36 ct/kWh angegeben.

Ausbauszenario zu einer nicht unerheblichen Preissteigerung für Industriekunden führen kann.

Auch durch das KWKG[38] erhöht sich der Strompreis. Durch den Belastungsausgleich (§ 9 des KWKG) wird die Vergütung des KWK-Stromes letztlich auf die Netznutzungsentgelte der Netzbetreiber und damit auf die Letztverbraucher umgelegt. Die Netznutzungsentgelte variieren dabei je nach Endverbraucherkategorie. Letztverbraucher mit einem Jahresverbrauch von 100 000 kWh zahlen für die abgenommene Strommenge über 100 000 kWh den gesetzlich festgelegten Aufschlag von 0,05 ct/kWh. Letztverbraucher mit einem Stromkostenanteil am Umsatz von mehr als 4 % zahlen für die Stromabnahme von mehr als 100 000 kWh einen reduzierten Satz von 0,025 ct/kWh. Für alle anderen Verbraucher richtet sich die Höhe des Aufpreises auf das Netznutzungsentgelt nach der Höhe der Ausgleichszahlung an die KWK-Betreiber (Anfang 2003 lag dieser bei 0,26 ct/kWh).

Aus der ökologischen Steuerreform ergeben sich ebenfalls ökonomische Vorteile für die KWK. Nach Rechnungen anhand von Fallbeispielen aus ASUE (2003) liegen diese zwischen 0,5 ct/kWh Strom (für Anlagen über 2 MW_{el} und hohen Jahresnutzungsgraden, was für viele industrielle KWK-Anlagen der Fall sein dürfte) und 3 ct/kWh Strom, was insbesondere für BHKW-Anlagen im Leistungsbereich unter 2 MW_{el} gilt (zur Übersicht siehe Tabelle 3.2-7). Auch in DLR et al. (2002) wird eine vergleichbare Förderbandbreite aufgeführt.

Unabhängig von der bestehenden und künftigen Gesetzeslage werden sich die Strompreise künftig aller Voraussicht nach erhöhen, da nach dem Jahre 2005 ein stetig steigender Bedarf an Neuinvestitionen für Kraftwerke ansteht und dieser nur dann gedeckt sein wird, wenn die Energieversorgungsunternehmen Strompreise erwirtschaften können, die die Vollkosten der Stromerzeugung decken. Diese liegen über den Preisen zu Beginn der Liberalisierung (konstante Brennstoffpreise vorausgesetzt), weil hier die EVU z.T. Preise auf Basis der variablen Stromgestehungskosten – bei einem weitgehend abgeschriebenen Kraftwerkspark - angeboten haben.

[38] Im KWKG selber existiert nur eine Abnahme und Festpreisvergütung für Strom, der in das öffentliche Netz selber eingespeist wird und somit nicht für den Strom, der industriell erzeugt und selber benötigt wird. Siehe die Ausführungen zum KWKG in Kapitel 3.9.

Tabelle 3.2-7 Übersicht über die direkte Förderhöhe und die indirekte Förderung (aufgrund von Strompreiserhöhungen, von denen KWK-Anlagen ausgenommen sind) verschiedener gesetzlicher Maßnahmen

Direkte Gesetzliche Förderung			Betroffene KWK-Anlagen	Förderhöhe im Jahr 2003 (auf Strom umgelegt)
Eigenerzeugung	Ökol. Steuerreform	Mineralölsteuerbefreiung von der Öko-Mineralölsteuer	Jahresnutzungsgrad > 60 %[1)]	Bis zu 3 ct/kWh
		Mineralölsteuerbefreiung von der Öko-Mineralölsteuer und bisherigen Mineralölsteuer	Jahresnutzungsgrad > 70 %[1)]	
		Stromsteuerbefreiung	Anlagen kleiner 2 MW_{el}	
Netzeinspeisung Strom	KWKG		Alte Bestandanlagen	1,53 ct/kWh
			Neue Bestandsanlagen	1,53 ct/kWh
			Modernisierte Anlagen	1,53 ct/kWh
			Neue BHKW-Anlagen kleiner 2 MW_{el}	2,56 ct/kWh
			Brennstoffzellen	5 ct/kWh
			Alle	Zusätzlich vermieden Netznutzungskosten (0 bis 1 ct/kWh)
Indirekte Förderung der Wirtschaftlichkeit durch Gesetze	EEG			0,2 ct/kWh
	KWKG			0,05 bis 0,26 ct/kWh

[1)] 74 % aller industriellen und öffentlichen KWK-Anlagen haben einen Jahresnutzungsgrad von mehr als 60 % und einen Jahresnutzungsgrad von über 70 % haben immerhin noch 55 % aller Anlagen (Blesl et al. 2000). Da i.d.R. die Jahresnutzungsgrade in der Industrie über denen der öffentlichen liegen, bekommen viele Industrieanlagen die Mineralölsteuerbefreiung (Gas ist am häufigsten eingesetzter Energieträger in Industrie). Nach AGFW (2001) weisen 80 % der industriellen KWK eine Gesamtnutzungsgrad von 0,7 auf.

Die aktuelle Entwicklung der Stromproduktion der KWK (siehe Abbildung 3.2-2) sowie verschiedene Studien (siehe u.a. AGFW 2001; Ritzau 2001; DLR et al. 2002) zeigen, dass viele KWK-Anlagen am Rande der Wirtschaftlichkeit stehen. Deshalb wird Ihnen ein Minderungspotenzial zwischen 1 bis 2 Mio. t CO_2 zugeordnet. Eine genaue Quantifizierung scheitert daran, dass die Datenbasis zu schwach ist. Nach 2010 wird die Bedeutung der Strompreiserhöhung weiter steigen, weil der Bedarf an einem Neubau von industriellen KWK-Anlagen steigt und damit wahrscheinlich eine weitere Erhöhung der Stromkennziffer, der Wirkungsgrade und der Umstieg auf kohlenstoffärmere Energieträger verbunden sein wird.

Weiterhin ist auf die von der Bundesregierung beschlossene Novellierung der 13. BImSchV (Großfeuerungsanlagen-Verordnung) hinzuweisen[39], die auch eine Prüfpflicht zur Anwendung der KWK vorsieht. Eine Bewertung der Wirkung dieser Bestimmung ist gegenwärtig noch nicht möglich.

3.2.2.7 EMAS-Verordnung

Im Bereich Information, Fortbildung, Beratung [**I**] sind an neuen Maßnahmen in erster Linie die Änderungen bei der EMAS und die EMAS-Privilegierungs-Verordnung zu betrachten, die den Unternehmen zusätzliche Anreize zur stärkeren Nutzung des Instrumentes Öko-Audit geben sollen. Analog einer betriebswirtschaftlichen Revision ist ein *Öko-Audit (Umwelt-Audit)* eine periodisch stattfindende, systematisch durchgeführte Überprüfung des betrieblichen Umweltschutzes.

Grundlage ist die „EG-Verordnung über die freiwillige Beteiligung gewerblicher Unternehmen an einem Gemeinschaftssystem für das Umweltmanagement und die Umweltbetriebsprüfung“ (EWG Nr. 1836/93 des Rates vom 29. 6. 1993) (EMAS I) über die Schaffung eines Öko-Audit-Systems. Die Mitgliedstaaten der EU mussten bis April 1995 die entsprechenden Strukturen und Rahmenbedingungen schaffen, damit sich Unternehmen dann an diesem Gemeinschaftssystem beteiligen konnten. Die EMAS steht unter der Leitidee des Sustainable Developments, wobei die Eigenverantwortung der Unternehmen für den Umweltschutz aufgegriffen wird. Im Vordergrund der umweltpolitischen Zielsetzung der Verordnung stehen dabei „...die Verhütung, die Verringerung und, soweit wie möglich, die Beseitigung der Umweltbelastung nach Möglichkeit an ihrem Ursprung auf der Grundlage des Verursacherprinzips sowie eine gute Bewirtschaftung der Rohstoffquellen und der Einsatz von sauberen oder saubereren Technologien“ und die „kontinuierliche Verbesserung des betrieblichen Umweltschutzes im Rahmen der gewerblichen Tätigkeiten“. Zur Erreichung dieser Zielsetzung werden materielle Anforderungen an betriebliche Umweltschutzpflichten gestellt, die in der Überprüfung und Einhaltung der Umweltgesetze münden, und darüber hinaus in der Verpflichtung zu kontinuierlichen Verbesserungen im wirtschaftlich vertretbaren Umfang nach Maßgabe des Stands der Technik liegen. Weiterhin wird der Aufbau eines Umweltmanagementsystems gefordert. Den Unternehmen in den Mitgliedstaaten der Europäischen Union wird mit der Verordnung die Möglichkeit geboten, sich auf *freiwilliger* Basis an diesem gemeinschaft-

[39] Bundestagsdrucksache 15/2596 vom 3. März 2004

lichen System des Umweltmanagements und der Umweltbetriebsprüfung zu beteiligen und hierüber ein entsprechendes registriertes Zertifikat zu erwerben.

Ende Dezember 2001 waren in Deutschland mehr als 2650 Standorte nach der EMAS-VO registriert. Verglichen mit der potentiellen Teilnehmerzahl von wenigen Millionen ist die Akzeptanz der EMAS I als sehr gering einzustufen.

Im April 2001 wurde die EMAS novelliert (Verordnung Nr. 761/2001 des Europäischen Parlamentes und des Rates; siehe EU 2001) (EMAS II). Durch diese Novellierung, die auch Dienstleistungsunternehmen einbezieht, wird die Teilnahme nicht nur für Einzelstandorte sondern auch von Organisationen an EMAS ermöglicht (verringerte Kosten durch Zusammenfassung der Ergebnisse für mehrere Standorte). Neu ist ferner die Berücksichtigung indirekter Umweltaspekte, z. B. produktbezogener Aspekte wie Verpackung oder Wiederverwertung. Weitere neue Zielsetzungen sind die stärkere Förderung der Teilnahme von kleineren und mittleren Unternehmen (z. B. durch Zugang zu Fördermitteln oder die Unterstützung durch branchenspezifische oder lokale Kontaktstellen wie Handelskammern) und die Erhöhung der Anforderungen an eine transparente Darstellung und Veröffentlichung gegenüber Anspruchsgruppen. Bei den Anforderungen an ein notwendiges Umweltmanagementsystem wurden die Anforderungen der ISO 14001 übernommen. Die ISO[40]-Norm 14001, die 1996 verabschiedet wurde[41], ist ein privatwirtschaftlicher Ansatz zur Auditierung von Umweltmanagementsystemen[42].

Durch die EMAS-Privilegierungs-Verordnung (EMASPrivilegV)[43] vom 29.06.2002 wird der in der EMAS II gestellten Anforderungen Rechnung getragen, dass bei registrierten Organisationen und bei vollziehenden Behörden ein doppelter Arbeitsaufwand vermieden werden soll. Bestimmte behördliche Fremdüberwachungen aufgrund ordnungsrechtlicher Bestimmungen werden bei registrierten Unternehmen nicht mehr gefordert und durch betriebseigene Über-

---

40 International Organisation for Standardisation: Förderung der Normung auf internationaler Ebene, wobei die Normen nur für die Mitglieder nationaler Normungsorganisationen (z.B. DIN e.V.) bindend sind.

41 Diese wurde in starker Anlehnung an die ISO 9000 Reihe zur Qualitätssicherung konzipiert, wegen der vermeintlichen Parallelität von Qualitäts- und Umweltmanagementsystemen. Die ISO 14001 bildet durch die Spezifikation des Umweltmanagementsystems den Kern des so genannten ISO 14000-Systems, das ein Bündel unterschiedlicher Normen im betrieblichen Umweltmanagement umfasst.

42 Siehe zur Darstellung und Würdigung UBA 2002.

43 Verordnung über immissionsschutz- und abfallrechtliche Überwachungserleichterungen für nach der Verordnung (EG) Nr. 761/2001 registrierte Standorte und Organisationen (BGB 2002).

wachungen ersetzt. Somit wird der Forderung nach einer Deregulierung im Umweltschutz Rechnung getragen.

Die Novellierung der EMAS-VO (EMAS II) und die EMASPrivilegV haben das Ziel, eine breitere Akzeptanz zu erzielen. Nach den neuesten Beteiligungszahlen (Ende November 2002 waren zwar 2403 Organisationen in Deutschland registriert[44], doch wurden die bisherigen Erwartungen nicht erfüllt. Gerade die Anzahl der registrierten Industrieunternehmen ging zurück und wurde zum Teil durch einen Anstieg der öffentlichen Organisationen kompensiert. Die Anreize durch die Deregulierung werden als zu gering eingestuft. Der Rückgang der teilnehmenden Organisationen ist seit dem Jahre 2001 zu beobachten und ist nicht nur auf Deutschland beschränkt, sondern auch auf die gesamte EU bezogen feststellbar[45].

Bei der EMAS II wird neben dem generellen Anspruch an eine kontinuierliche Verbesserung des betrieblichen Umweltschutzes explizit die Energie einbezogen. Bei der Erhebung und Bewertung der Umweltaspekte und bei der Erstellung der Umwelterklärung ist der Energieverbrauch einzubeziehen. Inwieweit dies zu einer rationellen Energienutzung führt, ist empirisch bisher wenig überprüft worden.

Empirische Studien über den generellen Erfolg der EMAS hinsichtlich seiner Bedeutung für den Umweltschutz bei den teilnehmenden Unternehmen kommen zu unterschiedlichen Aussagen. In Freimann 1999 wird die Schlussfolgerung gezogen, dass ein eigenständiger ökologischer Modernisierungsprozess bisher nur in Ansätzen erreicht wurde. Bei den teilnehmenden Unternehmen steht die Überprüfung der Einhaltung sämtlicher Gesetze, Verordnungen und Vorschriften als auch die Überprüfung der zur Durchführung des Umweltschutzes vorhandenen Systeme mit Konzentration auf Organisationsstrukturen und deren Dokumentation im Mittelpunkt. In der aktuellen Studie von Rennings et al. 2003 wird hingegen auf den positiven Einfluss auf die Umweltprozesse und Produktinnovationen hingewiesen, der bei zertifizierten Unternehmen festgestellt wurde.

---

[44] Auskunft von Herrn Dr. H. Hüwels, Umweltreferent, Deutscher Industrie- und Handelskammertag (DIHK), vom 11.02.2003. Da der Standortbegriff der EMAS I durch den Organisationsbegriff der EMAS II ersetzt wurde, sind die Beteiligungszahlen nur eingeschränkt vergleichbar, da mehrere registrierte Standorte zu einer Organisation zusammengefasst werden können. Doch dieser Effekt kompensiert die sinkenden Beteiligungszahlen nicht und die Anzahl der registrierten Organisationen sinkt in den letzten Monaten.

[45] Siehe zur Entwicklung der Beteiligungszahlen in Deutschland http://www.emas-logo.de/Teilnehmer/ Statistik_der_Bundeslander/statistik_der_bundeslander.html und in der EU http://europa.eu.int/comm/-environment/emas/documents/articles_en.htm.

Trotz der zumindest teilweisen guten Erfahrungen bei teilnehmenden Einzelunternehmen ist auf Grund der geringen Teilnehmerzahlen aus der Industrie, die aktuell zudem sinken, die Schlussfolgerungen zu ziehen, dass der Novellierung der EMAS und der EMASPrivilegV in der Industrie insgesamt kein relevanter Beitrag an einer Reduzierung der Treibhausgase auf nationaler Ebene zugesprochen werden kann.

Literatur zu Kapitel 3.2

AGFW Arbeitsgemeinschaft Fernwärme e.V. (2000): Pluralistische Wärmeversorgung - Strategien und Technologien einer pluralistischen Fern- und Nahwärmeversorgung in einem liberalisierten Energiemarkt unter besonderer Berücksichtigung der Kraft-Wärme-Kopplung und der regenerativen Energien, Frankfurt a.M.: AGFW

AGFW Arbeitsgemeinschaft Fernwärme e.V. (2001): Strategien und Technologien einer pluralistischen Fern- und Nahwärmeversorgung in einem liberalisierten Energiemarkt unter besonderer Berücksichtigung der Kraft-Wärme-Kopplung und der regenerativen Energien, Band 1, Grundlagen der Kraft-Wärme-Kopplung, Zertifizierungsverfahren und Fördermodelle, Frankfurt a.M.: AGFW

ASEW (2001): Aktuell, Juli/August 2001, Nr. 68, Informationsdienst für Mitgliedsunternehmen, Arbeitsgemeinschaft für sparsame Energie- und Wasserverwendung im VKU (ASEW)

ASUE (2003): Die „Ökologische Steuerreform“. Vorteil für Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen. Stand 1.1.2003

Bach, S. et al (2001): Die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen der ökologischen Steuerreform. Gutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Finanzen. Berlin: DIW, März 2001

BGB (2002): EMAS-Privilegierungs-Verordnung – EMASPrivilegV, 24.Juni 2002, BGBl. I S. 2247

Birzle-Harder, B.; Götz, K. (2002): Grüner Strom - eine sozialwissenschaftliche Marktanalyse, Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE), Kassel: ISOE

Bundesregierung (2002): Dritter Bericht der Regierung der Bundesrepublik Deutschland nach dem Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen. Hrsg.: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Berlin, Stand: Juli 2002

Bundestags-Drucksache 15/2496 (2004): Verordnung der Bundesregierung. Dreizehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetztes (Verordnung über Großfeuerungs- und Gasturbinenanlagen – 13. BImSchV). Berlin, 3. März 2004

Deutsche Ausgleichsbank (DtA) (2002): DtA-Förderreports, Bonn, versch. Jahre sowie persönliche Mitteilungen, Bonn 2002

Diekmann, J. et al. (1998): Politikszenarien für den Klimaschutz. Untersuchungen im Auftrag des Umweltbundesamtes. Herausgegeben von G. Stein und B. Strobel. Band 3: Methodik-Leitfaden für die Wirkungsabschätzung von Maßnahmen zur Emissionsminderung. Jülich: Forschungszentrum

Dreher, M:, Graehl; S.; Wietschel, M.(2002): Grüne Angebote als freiwilliges Förderinstrument, in: Wietschel, M.: Fichtner, W:; Rentz,O.: Regenerative Energieträger, Landesberg: ecomed, S. 99-130

DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, ISI Fraunhofer-Institut Systemtechnik und Innovationsforschung, ZSW Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung: Struktur und Entwicklung der zukünftigen Stromversorgung Baden-Württembergs, Studie im Auftrag des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg, Stuttgart, Karlsruhe: DLR/ISI/ZSW, 2002

EWI Energiewirtschaftliches Institut (2000): Entwicklung der Kraft-Wärme-Kopplung in Deutschland – Ergebnisse von Modellrechnungen des Energiewirtschaftlichen Instituts an der Universität Köln, in: Zeitschrift für Energiewirtschaft (ZfE) 2/2000

Freimann, J. (1999): Umweltmanagementsysteme im Urteil der Unternehmenspraxis – Ergebnisse einer empirischen Untersuchung, in: Bellmann, K.: *Betriebliches Umweltmanagement in Deutschland*, Wiesbaden: DVU, 1999, S. 263-282

Freimann, J.; Schwaderlapp, R. (1995): Öko-Audit: „Grüner Punkt“ für Unternehmen? - Umweltpolitische Aspekte einer ersten empirischen Studie, in: Zeitschrift für angewandte Umweltforschung, Jg. 8 (1995), H. 4, S. 484-496

Future Cogen (Hrsg.) (1999) The Future of CHP in the European Market – The European Cogeneration Study – Country Report Germany, 1999

Geiger, B.; Wittke, F. (2003): Die energiewirtschaftlichen Daten der Bundesrepublik Deutschland, in: BWK Bd. 55 (2003) Nr. ½, S. 56-63

Götz, G. (2003): Umweltmanagementsysteme – EMAS/ISO 14001, Internet Download vom 05.02.2003, http://www.acstyria.com/veranstaltungen/EMAS-ZertifizierungGtz.pdf

Greenprices (2003): Informationsmaterial, Internet-Download vom 26.01.2003, http://www.Greenprices.de,

IG BCE (Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie) und Ministerium für Wirtschaft und Mittelstand, Energie und Verkehr Nordrhein-Westfalen (2000): Vorsorgender Klimaschutz durch nachhaltige Effizienzsteigerung in allen Bereichen des Energiesystems

ISO-Survey (2000): The ISO Survey of ISO 9000 and ISO 14000 Certificates, Internet Download vom 28.10.2000 http://www.iso.ch,

Kottmann, H.; Loew, Th.; Clausen, J. (1999): Umweltmanagement mit Kennzahlen, München: Vahlen, 1999

Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) (2002, 2003) persönliche Mitteilungen, Frankfurt am Main

Krzikalla, N. (2002): Auswirkungen des EEG und des KWKG auf die Endkundenpreise, Kurzgutachten im Auftrag des Bundesverbands Windenergie e.V. und des Bund der Energieverbraucher e.V., Aachen: BET

Öko-Institut (2003): Arbeitspapier Nr. 3 im F+E-Vorhaben 202 41 186/03 des Umweltbundesamtes „Entwicklung eines nationalen Allokationsplans im Rahmen des EU-Emissionshandels“. April 2003 - Entwurf v4.0

Rat der Europäischen Gemeinschaften (EU) (1993): Verordnung (EWG) NR. 1863/93 des Rates vom 29. Juni 1993 über die freiwillige Beteiligung gewerblicher Unternehmen an einem Gemeinschaftssystem für das Umweltmanagement und die Umweltbetriebsprüfung, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 168/1-18, Brüssel

Rat der Europäischen Gemeinschaften (EU) (2001): Verordnung (EWG) NR. 761/2001 des Rates vom 19. März 2001 über die freiwillige Beteiligung gewerblicher Unternehmen an einem Gemeinschaftssystem für das Umweltmanagement und die Umweltbetriebsprüfung, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 114/1-29, Brüssel

Rennings, K.; Ziegler, A.; Ankele, K.; Hoffmann, E.; Nill, J. (2003): The Influence of the EU Environmental Management and Auditing Scheme on Environmental Innovations and Competitiveness in Germany: An Analysis on the Basis of the Case Studies and Large-Scale Survey, ZEW Discussion Paper No. 03-14, March 2003, Mannheim: ZEW

Rentz, O.; Fichtner, W.; Frank, M.; et al. (2002): Entwicklung eines regionalen Energiemanagement-Konzeptes und Anwendung auf die TechnologieRegion Karlsruhe, Endbericht eines Forschungsvorhaben gefördert durch das BMBF, Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP) der Universität Karlsruhe (TH), Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT), Engler-Bunte-Institut, Bereich Gas, Erdöl, Kohle (EBI) der Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe: IIPRWE: KWK-Verbändevereinbarung und KWK-Gesetz (neu), Internet-Download vom 23.02.2003, http://www.rwe.com/de/welt/wissen/energiewelt/energiewirtschaft/kwk_gesetz/kwk_gesetz.jsp?bhcp=1

RWI (Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung) (2002a): Die Klimaschutzerklärung der deutschen Industrie vom März 1996 – eine abschließende Bilanz. Monitoring-Bericht 2000. Essen.

RWI (Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung) (2002b): Die Klimaschutzerklärung der deutschen Industrie vom März 1996 – eine abschließende Bilanz. Monitoring-Bericht 2000. Fortschrittsberichte der Verbände. Essen.

Selbstverpflichtung der Wirtschaft zur Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung (2001): Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Minderung der CO_2–Emissionen und der Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung in Ergänzung zur Klimavereinbarung vom 9.11.2000

Starrmann, F. (2001): Entwicklung der Kraft-Wärme-Kopplung in liberalisierten Elektrizitätsmärkten, München: Oldenburg Industrieverlag

Statistisches Bundesamt (2002): Produzierendes Gewerbe – Stromerzeugungsanlagen der Betriebe im Bergbau und im verarbeitenden Gewerbe, Fachserie 4/Reihe 6.4, Wiesbaden: Statistisches Bundesamt

Tauber, C. (2002): Energie- und volkswirtschaftliche Aspekte der Windenergienutzung in Deutschland, Sichtweise von E.ON Kraftwerke, in: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 52 Jg (2002), Heft 12

Umweltbehörde Hamburg (2001): Monitoringsystem, Internet Download vom 08.01.2003, http://www.hamburg.de/Behoerden/ Umweltbehoerde/kursbuch/monitoring/ku_ind_res2.htm

Umweltbundesamt (UBA) (2002): ISO 14001 in Deutschland – Erfahrungsbericht, Internet-Download vom 10.12.2002, http://www.14001news.de/Projekt/Ergebnisse/ISO14001_de_II.pdf

VDEW (2001): VDEW-Jahresbericht 2002: Energiethemen gemeinsam kommunizieren, Verband der deutschen Elektrizitätswirtschaft (VDEW)

Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Minderung der CO2 –Emissionen und der Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung in Ergänzung zur Klimavereinbarung vom 9.11.2000

VIK Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V. (2002): Statistik der Energiewirtschaft 2000/2001, Essen: Verlag Energieberatung GmbH

VIK Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V (2003): VIK-Strompreisindex, Internet-Download vom 20.01.2003, http://www.vik-online.de/infocenter/dow_vik_index/stromindex-inhalt.htm)

Wietschel, M; Dreher, M.; Rentz, O. (2001): Grüne Angebote in Deutschland: Stand und Perspektiven, in: Strategien und Instrumente für den Wettbewerb in der Energiewirtschaft, Tagungsband und Tagungs-CDROM, Wien: IEWT

Ziesing, H.-J. et al. (1997): Politikszenarien für den Klimaschutz. Untersuchungen im Auftrag des Umweltbundesamtes. Herausgegeben von G. Stein und B. Strobel. Band 1: Szenarien und Maßnahmen zur Minderung von CO_2–Emissionen in Deutschland bis zum Jahr 2005. Jülich: Forschungszentrum

3.3 Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) (Fraunhofer ISI)

3.3.1 Überblick über die Maßnahmen

Zum Sektor „Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher (GHD)“ (bis 1995 bezeichnet als „Kleinverbraucher“) zählen nach der Abgrenzung der deutschen Energiebilanz alle Endenergieverbraucher, die nicht den Sektoren Industrie, private Haushalte, Verkehr und militärische Dienststellen zugeordnet werden. Es handelt sich um einen sehr heterogenen Bereich mit einem großen Anteil an mittelständischen Wirtschaftsunternehmen aus den Bereichen Kleingewerbe, Handel, Handwerk, Landwirtschaft, Baugewerbe und private Dienstleistungen. Außerdem gehören die gesamten öffentlichen Gebäude und Einrichtungen zu diesem Sektor.

Die Maßnahmen zur Minderung der energiebedingten CO_2-Emissionen im GHD-Sektor entsprechen weitgehend denen im Industriesektor. Aus diesem Grund werden die Maßnahmen für beide Sektoren häufig gemeinsam betrachtet[46]. Da in den hier gerechneten Szenarien die Emissionen der beiden Sektoren getrennt ausgewiesen werden, werden auch die dahinter stehenden Maßnahmenwirkungen für jeden Sektor getrennt abgeschätzt.

Die für den Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen im Mit-Maßnahmen-Szenario berücksichtigten Maßnahmen zur CO_2–Minderung sind in Übersicht 3.3-1 aufgelistet. Analog zum Vorgehen bei der Industrie werden die der industriellen KWK zuzurechnenden Emissionsminderungspotenziale sowie die indirekten, durch Strom und Fernwärme bedingten CO_2-Emissionen hier lediglich nachrichtlich aufgeführt; die Bilanzierung erfolgt im Umwandlungssektor.

Das genaue Vorgehen bei der Quantifizierung der CO_2–Minderungspotenziale im GHD-Sektor wird im Folgenden erläutert. Auf eine nochmalige Beschreibung der Maßnahmen wird an dieser Stelle jedoch verzichtet und auf die entsprechenden Ausführungen zur Industrie verwiesen (siehe Kapitel 3.2).

---

[46] So auch in Politikszenarien I oder im Dritten Nationalbericht der Bundesregierung (2002).

Übersicht 3.3-1 Klimaschutzpolitische Maßnahmen für das „Mit-Maßnahmen-Szenario“ im Bereich Gewerbe, Handel, Dienstleistungen

Maßnahme/ Umsetzung/ Institution	Typ	Beschreibung/Ziele (Wirkungsbereich)	Umsetzungs-stand (Wirkungs-beginn)	Erwarteter Effekt 2008/2012 in Mio. t CO_2	Ausblick 2020 (qualitativ)
Energieeinsparver-ordnung (EnEV) in Kraft Bundesregierung	R	Zusammenfassung und Verschärfung bisher geltender Anforderungen der WSchV und der HeizAnlV mit dem Ziel einer Reduktion des Energie-bedarfs der Neubauten um 30% sowie der Erschließung von Einsparpoten-zialen im Gebäudebestand.	laufend seit 01.02.2002 (Auswirkun-gen Gebäu-debestand ab 2006)	direkte Emissionen **-5,2** nachrichtl.: Strom -0,77 TWh FW -12,3 PJ	im Rhyth-mus der Ge-bäudeer-neuerung weiter steigend
Gesetz über die ökologische Steuer-reform in Kraft Bundesregierung	E	Stufenweise Einführung bzw. Erhöhung der Steuersätze auf einzelne Energieträger (Strom, Gas, Kraftstoffe, Heizöl) mit dem Ziel einer Verstärkung der Anreizwirkung für REN und REG bei gleichzeitiger Entlastung des Faktors Arbeit; ermäßigte Steuersätze für die Landwirtschaft.	laufend seit 01.04. 1999	direkte Emissionen **-5,0**	konstant bis steigend (abhängig von der Entwicklung des Steuer-satzes)
Nutzung des Ange-bots von grünem Strom laufend Wirtschaft	E,V	Verstärkte Nutzung der Angobte von Energieiversorgungsunternehmen oder Öko-Stromhändlern, Strom aus erneuerbaren Energien zu fördern	laufend	nachrichtl.: Strom-produktion von 0,3 TWh	steigend
Verbesserung der Kreditprogramme von KfW/DtA Prüfung Bundesregierung	F	Zwischen 1998 und 2002 leichte Ausdeh-nung der Zusagen i.R. des KfW-Umweltpro-grammes, aber Rückgang beim DtA-Programm; d.h. bisher noch keine nennens-werte Verbesserung ersichtlich.	unsicher	0	derzeit keine Aussage möglich
Erklärung der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge II in Kraft Bundesregierung Wirtschaft	V	Fortschreibung der Selbstverpflichtung der deutschen Wirtschaft von 1996 zur Emissionsreduktion: Minderung CO2 bis 2005 28 % (vorher 25 %); Minderung der Kyoto-Gase bis 2012 um 35 % (vorher 21 % bis 2008/2012) im Vergleich zu 1990.	laufend seit 9.11.2000	gering (in Industrie enthalten)	
Maßnahmen zur Förderung der industriellen KWK: Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz, Gesetz über die ökolo-gische Steuerreform, Erneuerbare Energien Gesetz (EEG)	E	Die angeführten Maßnahmen fördern die KWK indirekt, weil sie zu höheren Strompreisen für einen Stromfremdbezug führen und damit industrielle KWK-Analagen wirtschaftlicher werden	laufend	nachrichtl.: **-0,3**	steigend
Selbstverpflichtung der Wirtschaft zur Förderung der KWK in Kraft Bundesregierung Wirtschaft	V	Selbstverpflichtungserkläung von Teilen der deutschen Wirtschaft/Energiewirtschaft zum Ausbau der KWK (in der Summe von GHD, Industrie und Energiewirtschaft 9 Mio..t CO2 bis 2010 mit Bezug auf 1998)	laufend seit 04.07.2001	gering	gering
Selbstverpflichtung der Bundesregierung Beschluss Bundesregierung	V	Senkung der CO_2– Emissionen im Geschäftsbereich der Bundesregie-rung um 25 % bis 2005 und 30 % bis 2010	laufend	sehr gering	

noch
Übersicht 3.3-1 Klimaschutzpolitische Maßnahmen im „Mit-Maßnahmen-Szenario“ im Bereich Gewerbe, Handel, Dienstleistungen

Maßnahme/ Umsetzung/ Institution	Typ	Beschreibung/Ziele (Wirkungsbereich)	Umsetzungs-stand (Wirkungs-beginn)	Erwarteter Effekt 2008/2012 in Mio. t CO_2	Ausblick 2020 (qualitativ)
EMAS-Verordnung in Kraft Bundesregierung	I,V	Europäisches Umweltmanagementsystem EMAS (Eco Management and Audit Scheme) zur kontinuierlichen Verbesserung des betrieblichen Umweltschutzes bei Stärkung der Eigenverantwortung der Wirtschaft; mit der Novellierung der ersten EMAS-VO von 1995 (EMAS II vom 27.4.2001) sowie der EMAS-Privilegierungs-Verordnung vom 29.6.2002 soll eine breitere Akzeptanz erzielt werden.	laufend	sehr gering	sehr gering
1) Gewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen auf die direkten CO_2-Emissionen				**-10,2**	**steigend**
2) Direkte CO_2-Emissionen des Sektors im "Mit-Maßnahmen-Szenario" (entspricht dem ggf. zu modifizierenden Referenz-Szenario der Enquete-Kommission)				**57,9**	**fallend**
3) Direkte CO_2-Emissionen des Sektors im Ohne-Maßnahmen-Szenario (1+2)				**68,1**	**konstant**
CO_2-Emissionen im Basisjahr 1990				**90,5**	

3.3.2 Zur Quantifizierung der CO_2-Minderungspotenziale

3.3.2.1 Energieeinsparverordnung (EnEV)

Der Anteil der Raumwärme am Energieverbrauch des GHD-Sektors ist erheblich höher als in der Industrie. Für die Abschätzung der Wirkung der Energieeinsparverordnung im GHD-Sektor wird ein Raumwärmeanteil von 65 % (Industrie: 15 %) zu Grunde gelegt. Davon abgesehen werden die gleichen Annahmen wie für den Industriesektor getroffen, d. h.:

- Für neu errichtete Gebäude: 2 % Gebäudeumsatz pro Jahr; Abschätzung der Wirkung der Maßnahme über 8 Jahre (2002 bis 2010); Befolgungsgrad der Verordnung: 85 %; erzielte Einsparung gegenüber der Wärmeschutzverordnung von 1994: 30 %;
- Für existierende Gebäude (nur Heizung): Einsparung 10 %; Wirkung der Maßnahme über 4 Jahre (2006 bis 2010; Ende der Übergangsfrist für alte Kesselanlagen); 15 % des Bestandes betroffen.

Auf Grund des erheblich höheren Raumwärmeanteils im GHD-Sektor fällt auch der der EnEV zuzurechnende CO_2–Minderungseffekt deutlich größer aus als für die Industrie. Bis zum Jahr 2010 wird mit einer Verminderung der direkten CO_2–Emissionen um rund 5,2 Mio. t gerechnet. Hinzu kommen Einsparungen an Fernwärme in Höhe von ca. 12,3 PJ sowie knapp 0,8 TWh Strom. Wie im Industriesektor ist auch im GHD-Sektor nach 2010 mit einem im Rhythmus der Gebäudeerneuerung weiter steigenden CO_2–Minderungseffekt durch die EnEV zu rechnen.

3.3.2.2 Gesetz über die ökologische Steuerreform

Die Quantifizierung der CO_2–Minderungswirkung der ökologischen Steuerreform für den Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen erfolgte wie im Industriesektor auf Basis des DIW-Gutachtens zur ökologischen Steuerreform (Bach et al. 2001; Tabelle 4-17). Im GHD-Sektor fällt der Rückgang der durch die ökologische Steuerreform bedingten CO_2–Emissionen höher aus als in der Industrie, da für die meisten Unternehmen – mit Ausnahme der Landwirtschaft - ermäßigte Steuersätze keine Bedeutung haben.

Für die dem GHD-Sektor zuzurechnenden Bereiche wurden in der Untersuchung von Bach et al. (2001) folgende Emissionsrückgänge bis 2010 angenommen: Landwirtschaft –2,03 %; Bauten –7,35 %; Dienstleistungen: -6,32 %; Staat: -2,86 %. Gewichtet mit den Anteilen dieser Sub-Sektoren am gesamten Energieverbrauch des GHD-Sektors bedeutet dies für den Sektor insgesamt einen der Ökosteuer zuzurechnenden Rückgang der direkten CO_2–Emissionen um rund 5,5 % oder 3,6 Mio. t.

Für den Zeitraum 2003-2010 sind zusätzlich noch die Auswirkungen des zum 1. Januar 2003 in Kraft getretenen Gesetzes zur Fortentwicklung der ökologischen Steuerreform zu betrachten. Für die Landwirtschaft betrifft dies vor allem die Verdreifachung der ermäßigten Steuersätze von 20 auf 60 %. Auch wenn man hier - wie im Industriesektor - von einer Verdoppelung der bisherigen Wirkung der Ökosteuer ausgeht, so fällt der dadurch ab 2003 zusätzlich eintretende CO_2–Minderungseffekt auf Grund der oben angenommenen moderaten Wirkung der Ökosteuer in der Landwirtschaft sowie deren geringem Anteil am Energieverbrauch des GHD-Sektors nur gering aus (ca. –0,1 Mio. t). Von der Erhöhung der Steuersätze auf Erd- und Flüssiggas um 63 % sowie auf schweres Heizöl um 72 % hingegen dürfte im gesamten Sektor ein zusätzlicher Anreiz zur Verringerung der Energienachfrage und entsprechender CO_2–Reduktion ausgehen. Auf die Gase sowie das schwere Heizöl entfällt im GHD-Sektor

rund 50 % des die direkten CO_2–Emissionen verursachenden Energieverbrauchs. Geht man weiterhin davon aus, dass sich die Erhöhung der Steuersätze in einem gewissen Umfang tatsächlich in einer Verringerung der Energienachfrage widerspiegelt (mit einem Faktor 1,25), so ergibt sich für den Zeitraum 2003-2010 eine zusätzliche CO_2–Minderungswirkung der Neuregelung der Ökosteuer um rund 1,4 Mio. t.

Insgesamt bedeutet dies einen durch die bisher schon umgesetzten Stufen der Ökologischen Steuerreform bedingten Rückgang der CO_2–Emissionen im GHD-Sektor bis 2010 um rund 5 Mio. t. Die weiteren Auswirkungen der Ökosteuer über das Jahr 2010 hinaus sind zum heutigen Zeitpunkt nur schwer zu beurteilen, da sie von der Weiterentwicklung der Ökologischen Steuerreform abhängen.

3.3.2.3 Nutzung des Angebots von grünem Strom

Das Instrumentarium Grüne Angebote ist im Kapitel Industrie ausführlich dargestellt worden. Auf der Basis der dort dargelegten Berechnungsgrundlagen lässt sich im GHD-Sektor für das Jahr 2000 eine CO_2–Einsparung von 0,16 Mio. t CO_2 abschätzen. Unter der Annahme, dass die aktuellen Steigerungsraten beibehalten werden, kann die CO_2–Einsparung für das Jahr 2010 mit 0,38 Mio. t CO_2 prognostiziert werden bzw. es werden 0,3 TWh Strom durch Anlagen aus Grünen Angeboten erzeugt. Aufgrund der aktuellen Steigerungszahlen wird auch davon ausgegangen, dass nach 2010 die Nachfrage nach Grünem Strom weiter steigt.

3.3.2.4 Verbesserung der Kreditprogramme von KfW/DtA

Wie im Industriekapitel ausführlich dargelegt wurde, gab es seit 1998 zwar eine leichte Ausdehnung der Kreditzusagen im Rahmen des KfW-Umweltprogramms. Demgegenüber gingen aber die der Energieeinsparung in Industrie und Gewerbe zuzurechnenden Kreditzusagen im Förderbereich Umwelt der DtA in ähnlichem Umfang zurück. Eine genaue Zuordnung der Kreditzusagen auf die Sektoren Industrie und GHD lässt die gegenwärtige Datenlage nicht zu. Die für den Industriesektor getroffene Einschätzung, dieser Maßnahme im Mit-Maßnahmen-Szenario keine zusätzliche CO_2–mindernde Wirkung über den im Referenzszenario bereits enthaltenen Beitrag zuzuordnen, wird daher auch für den GHD-Sektor übernommen.

3.3.2.5 Erklärung der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge II

Die Erklärungen der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge haben vor allem Auswirkungen im Industriesektor. Der CO_2–Minderungseffekt im GHD-Sektor ist demgegenüber gering und bereits in den Abschätzungen für die Industrie enthalten.

3.3.2.6 Selbstverpflichtung der Wirtschaft und weitere Maßnahmen zur Förderung der KWK im GHD-Sektor

Die generelle Thematik der Kraft-Wärme-Kopplung wurde bereits im Abschnitt 3.2.2.6 abgehandelt. Dort wurden auch die einzelnen Fördermechanismen aufgezeigt.

Eine genaue Erfassung der Strom- und Wärmeerzeugung in KWK-Anlagen für den GHD-Sektor ist nicht verfügbar. In diesem Sektor werden überwiegend Blockheizkraftwerke (BHKW) eingesetzt. 1998 gab es insgesamt 5 500 BHKW-Anlagen (Motoren und Gasturbinen) mit einer elektrischen Leistung von 2,1 GW (AGFW Bericht). 90 % davon befinden sich in der Industrie, dem GHD-Sektor und der öffentlichen Versorgung (BHKW-Infozentrum 2002). Für die BHKW-Anlagen kann man davon ausgehen, dass die Anlagen über 1 MW - die den höchsten Anteil an der Erzeugung haben - bereits in der industriellen und kommunalen Berichtserstattung erfasst sind. Die Anzahl der neu installierten BHKW-Anlagen ist in den letzten Jahren drastisch gesunken. Nach E&M (2003) wurden nach einer empirischen Erhebung unter 12 Anlagenherstellern (mit einem Marktanteil von ca. 75 %) im Jahre 1998 noch BHKW-Anlagen mit einer Gesamtleistung von 102 814 kW_{el} installiert, im Jahre 2002 aber nur noch im Umfang von 27 948 kW_{el}. Dies ist auf die gesunkene Wirtschaftlichkeit zurückzuführen, die auch durch die gesetzlichen Maßnahmen nur teilweise kompensiert werden kann (siehe Abschnitt 3.2.2.6). Anders als im Industriesektor wird der marktgetriebene wirtschaftliche Ausbau der KWK-Anlagen in verschiedenen Studien deutlich pessimistischer eingeschätzt (siehe future cogen 1999 und Starrmann 2001).

Insgesamt wird geschätzt, dass die Maßnahmen, die - wie in Abschnitt 3.2.2.6 beschrieben - zu einer Erhöhung der Fremdstrompreise führen, zu einer CO_2–Minderung im GHD-Sektor von 0,3 Mio. t im Jahre 2010 führen. Auf Grund des Ersatzpotenzials nach 2010 wird diesen Maßnahmen mit Blick auf das Jahr 2020 ein steigender Einfluss zugesprochen. Der Selbstverpflichtung der Wirtschaft zur Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung wird hingegen im GHD-Sektor nur ein geringer Einfluss zugeschrieben.

3.3.2.7 Selbstverpflichtung der Bundesregierung

Als weitere querschnittsorientierte Maßnahme wird im Nationalen Klimaschutzprogramm der Bundesregierung (2000) sowie im Dritten Nationalbericht (2002) die Verpflichtung der Bundesregierung genannt, in ihrem Geschäftsbereich die CO_2–Emissionen um 25 % bis 2005 und 30 % bis 2010 zu senken. Sektorbezogen betrifft diese Maßnahme den Verkehrs- sowie den GHD-Sektor. Mit welchen konkreten Maßnahmen das CO_2-Minderungsziel im jeweiligen Geschäftsbereich erreicht wird, wird dabei der jeweiligen Ressortverantwortung überlassen.

Als mögliche Maßnahmen zur CO_2–Reduktion, deren Minderungswirkung dem GHD-Sektor zuzurechnen wäre, kommen insbesondere technische oder verhaltensbezogene Maßnahmen im Gebäudebereich (wie bessere Wärmedämmung, verändertes Lüftungsverhalten, Senkung der Raumtemperatur) und bei Bürogeräten (wie die Anschaffung hochenergieeffizienter Geräte, die Verwendung schaltbarer Steckerleisten oder die häufigere Nutzung der Energiesparfunktion) in Frage. Eine genaue Quantifizierung dieser Maßnahme ist jedoch schwierig, da unklar ist, inwieweit das Ziel eher mit verkehrs- oder mit GHD-bezogenen Maßnahmen erreicht wird. Außerdem sind die Wirkungen dieser Selbstverpflichtung teilweise in den Wirkungen der Maßnahmen enthalten, mit denen die Zielerreichung konkret erfolgt (im GHD-Sektor z. B. in den Auswirkungen der EnEV). Die seitens der Bundesregierung im Nachhaltigkeits-Bericht erklärte Absicht, durch Contracting in bundeseigenen Liegenschaften die anstehenden Re-Investitionen in Wärmeerzeuger und Haustechnik zu realisieren, wird zwar von der Bundesregierung (BMVBW und BMU federführend) verfolgt, stößt derzeit aber noch auf finanzrechtliche Bedenken des Finanzministeriums.

Von diesen sektoralen und maßnahmenspezifischen Zuordnungsproblemen abgesehen, dürfte die absolute CO_2–Minderungswirkung dieser Maßnahme im GHD-Sektor auf Grund des geringen Anteils von Gebäuden der Bundesregierung und der darin befindlichen Geräte am Gesamtbestand in Deutschland auch nur sehr gering ausfallen. Die Selbstverpflichtung ist, wie auch von der Bundesregierung beabsichtigt, vor allem auch als deutliches Signal für die Öffentlichkeit zu werten.

3.3.2.8 EMAS-Verordnung

Die Novellierung der EMAS sowie die EMASPrivilegV haben beide das Ziel, die Akzeptanz von Öko-Audits zu erhöhen. Diese Instrumente sind im Abschnitt 3.2.2.7 zur Industrie ausführlich dargestellt. Die dort getroffene Aussage, dass ihnen trotz der teilweise guten Erfah-

rungen bei teilnehmenden Einzelunternehmen auf Grund der insgesamt nur geringen Anzahl an teilnehmenden Unternehmen in der Summe keine nennenswerte CO_2–Minderung zugeordnet werden kann, ist auch auf den GHD-Sektor zu übertragen.

Literatur zu Kapitel 3.3

AGFW Arbeitsgemeinschaft Fernwärme e.V. (2001): Strategien und Technologien einer pluralistischen Fern- und Nahwärmeversorgung in einem liberalisierten Energiemarkt unter besonderer Berücksichtigung der Kraft-Wärme-Kopplung und der regenerativen Energien, Band 1, Grundlagen der Kraft-Wärme-Kopplung, Zertifizierungsverfahren und Fördermodelle, Frankfurt a.M.: AGFW

ASEW (2001): Aktuell, Juli/August 2001, Nr. 68, Informationsdienst für Mitgliedsunternehmen, Arbeitsgemeinschaft für sparsame Energie- und Wasserverwendung im VKU (ASEW)

Bach, S. et al (2001): Die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen der ökologischen Steuerreform. Gutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Finanzen. Berlin: DIW, März 2001

BGB (2002): EMAS-Privilegierungs-Verordnung – EMASPrivilegV, 24.Juni 2002, BGBl. I S. 2247

BHKW-Infozentrum (2002), Internet Download vom 11.12.2002, http://www.bhkw-infozentrum.de/anwendung/stand.html

Birzle-Harder, B.; Götz, K. (2002): Grüner Strom - eine sozialwissenschaftliche Marktanalyse, Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE), Kassel: ISOE

Bundesregierung (2002): Dritter Nationalbericht zum Klimaschutz in Deutschland (Dritter Bericht der Bundesrepublik Deutschland an die Vertragsstaatenkonferenz gemäß Artikel 12 Klimarahmenkonvention), Berlin, Juli 2002

Bundesregierung (2002): Nationales Klimaschutzprogramm. Beschluss der Bundesregierung vom 18. Oktober 2000. Berlin: BMU, Oktober 2002

Deutsche Ausgleichsbank (DtA) (2002): Förderreports (Die DtA-Förderbereiche, versch. Jahre), Bonn, versch. Jahre sowie persönliche Mitteilungen, Bonn

Dreher, M:, Graehl; S.; Wietschel, M.(2002): Grüne Angebote als freiwilliges Förderinstrument, in: Wietschel, M.: Fichtner, W:; Rentz,O.: Regenerative Energieträger, Landesberg: ecomed, S. 99-130

Freimann, J. (1999): Umweltmanagementsysteme im Urteil der Unternehmenspraxis – Ergebnisse einer empirischen Untersuchung, in: Bellmann, K.: Betriebliches Umweltmanagement in Deutschland, Wiesbaden: DVU, 1999, S. 263-282

Freimann, J.; Schwaderlapp, R. (1995): Öko-Audit: „Grüner Punkt“ für Unternehmen? - Umweltpolitische Aspekte einer ersten empirischen Studie, in: Zeitschrift für angewandte Umweltforschung, Jg. 8 (1995), H. 4, S. 484-496

future cogen (Hrsg.) (1999) The Future of CHP in the European Market – The European Cogeneration Study – Country Report Germany, Forschungsbericht im Rahmen des EU-Programms SAVE, Overmoor, Neston, Corsham: Energy for Sustainable Development (ESD)

Götz, G. (2003): Umweltmanagementsysteme – EMAS/ISO 14001, Internet Download vom 05.02.2003, http://www.acstyria.com/veranstaltungen/EMAS-ZertifizierungGtz.pdf

Greenprices (2003): Informationsmaterial, Internet-Download vom 26.01.2003 http://www.Greenprices.de,

ISO-Survey (2000): The ISO Survey of ISO 9000 and ISO 14000 Certificates, Internet Download vom 28.10.2000 http://www.iso.ch,

Kottmann, H.; Loew, Th.; Clausen, J. (1999): Umweltmanagement mit Kennzahlen, München: Vahlen, 1999

Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) (2002, 2003): persönliche Mitteilungen, Frankfurt am Main

Rat der Europäischen Gemeinschaften (EU) (1993): Verordnung (EWG) NR. 1863/93 des Rates vom 29. Juni 1993 über die freiwillige Beteiligung gewerblicher Unternehmen an einem Gemeinschaftssystem für das Umweltmanagement und die Umweltbetriebsprüfung, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 168/1-18, Brüssel

Rat der Europäischen Gemeinschaften (EU) (2001): Verordnung (EWG) NR. 761/2001 des Rates vom 19. März 2001 über die freiwillige Beteiligung gewerblicher Unternehmen an einem Gemeinschaftssystem für das Umweltmanagement und die Umweltbetriebsprüfung, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 114/1-29, Brüssel

Starrmann, F. (2001): Entwicklung der Kraft-Wärme-Kopplung in liberalisierten Elektrizitätsmärkten, München: Oldenbourg Industrieverlag

Umweltbehörde Hamburg (2001): Monitoringsystem, Internet Download vom 08.01.2003, http://www.hamburg.de/Behoerden/ Umweltbehoerde/kursbuch/monitoring/ku_ind_res2.htm

Umweltbundesministerium (UBA) (2002): ISO 14001 in Deutschland – Erfahrungsbericht, Internet-Download vom 10.12.2002, http://www.14001news.de/Projekt/Ergebnisse/ISO14001_de_II.pdf

VDEW (2001): VDEW-Jahresbericht 2002: Energiethemen gemeinsam kommunizieren, Verband der deutschen Elektrizitätswirtschaft (VDEW)

Wietschel, M; Dreher, M.; Rentz, O. (2001): Grüne Angebote in Deutschland: Stand und Perspektiven, in: Strategien und Instrumente für den Wettbewerb in der Energiewirtschaft, Tagungsband und Tagungs-CDROM, Wien: IEWT

Zeitschrift E&M vom 15. Januar 2003, KWK kompakt. S. 41

3.4 Haushalte

3.4.1 **Raumwärme und Warmwasser** (STE/FZ Jülich)

3.4.1.1 Die bisherige Entwicklung im Gebäudebereich

Determinanten des Wärmebedarfs

Auf die Entwicklung des künftigen Wärmebedarfs im Gebäudebereich wirken verschiedene gegenläufige Trends, die teils eine Verringerung des Energiebedarfs hervorrufen und teils eine verstärkte Energienachfrage verursachen.

So wird auf der einen Seite häufig damit gerechnet, dass der Energiebedarf zur Wärmeversorgung von Gebäuden im Zuge der Einführung der Energieeinsparverordnung (EnEV), einer zunehmenden Verbreitung der Niedrigenergie- und Passivhausbauweise sowie insbesondere der zu erwartenden Altbausanierung sinken wird. Darüber hinaus wird davon ausgegangen, dass im Falle einer stringenteren Klimaschutzpolitik langfristig mit einer weiteren Verschärfung der Wärmeschutzstandards, einer wirksameren Vollzugskontrolle bei der Altbausanierung und einer verstärkten Nutzung regenerativer Energiequellen zu rechnen ist. Dies alles verringert die CO_2-Emission im Gebäudebereich.

Auf der anderen Seite ist zu berücksichtigen, dass durch Neubauten zusätzlich zu beheizende Wohnflächen entstehen. Neubauten, auch wenn sie entsprechend den geltenden Verordnungen gedämmt sind, verursachen einen zusätzlichen Anstieg der Energienachfrage im Bestand. Die neue Nachfrage wird in der Regel nicht durch einen entsprechenden Gebäudeabriss kompensiert. Außerdem zeigt sich in der Praxis immer wieder, dass durch eine unzureichende energetische Sanierung im Altbaubereich und einen unzureichenden Vollzug der Wärmeschutzverordnung im Neubaubereich erhebliche Einsparpotenziale verschenkt werden. Die Wärmenachfrage und die resultierende CO_2-Emission sinken dadurch weniger stark als erwartet.

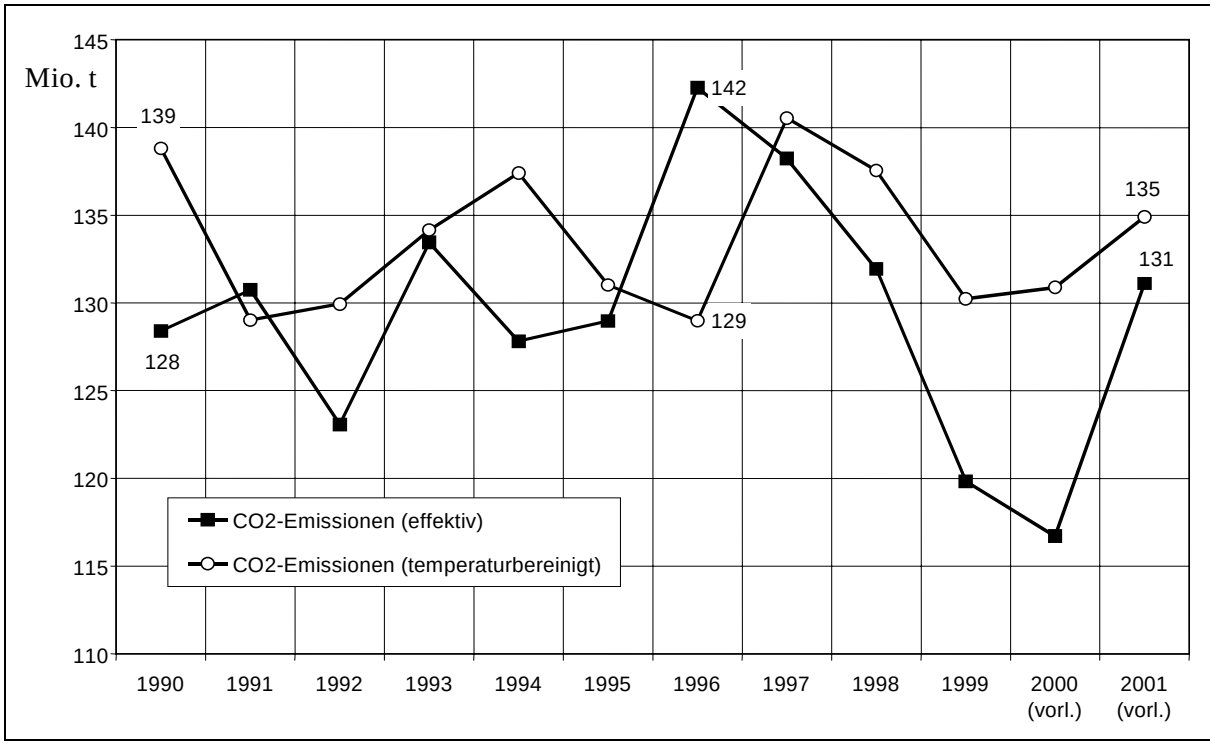
Welcher der nachfragebremsenden oder nachfragebeschleunigenden Trends langfristig am wirksamsten ist, hängt u. a. stark von der politischen Weichenstellung und deren Umsetzung in der Praxis ab.

Unzureichende Entwicklung der CO_2-Emission von 1990 bis 2001

Abbildung 3.4-1 zeigt, dass die Bemühungen zur Reduktion des CO_2-Ausstoßes im Haushaltssektor bisher noch keinen nachhaltigen Erfolg gezeigt haben. Von 1990 bis 1997/1998 ist

keine Reduktion, sondern ein eher steigender Trend des effektiven CO_2-Ausstoßes zu erkennen. Erst ab 1997 setzte offensichtlich eine Trendwende ein. Die effektiven Emissionen nahmen bis 2000 deutlich ab. Allerdings hat sich dieser abnehmende Trend noch nicht stabilisiert, da die Emissionen im Haushaltsbereich im Jahr 2001 wieder deutlich gestiegen sind. Da die Zahlen für 2000 und 2001 noch vorläufig sind, ist eine abschließende Beurteilung des Trends noch nicht möglich. Temperaturbereinigt zeigt sich ein etwas modifiziertes Bild. Die großen Schwankungen in den sehr kalten und den sehr warmen Jahren fallen geringer aus. Danach bewegten sich die Emissionen in den Jahren von 1990 bis 2001 in einer Bandbreite von rund 130 bis 140 Mio. t CO_2, ohne dass ein eindeutiger Trend zu erkennen ist. Eine sinkende Tendenz lässt sich jedenfalls auch anhand der temperaturbereinigten Werte nicht nachweisen.

Abbildung 3.4-1 CO_2-Emission des Haushaltssektors von 1990 bis 2001



Quellen: Umweltbundesamt, AG Energiebilanzen, DIW Berlin.

Ursachen für die unzureichenden Minderungen

Es kann angenommen werden, dass die Minderungsziele auch in der Zukunft nicht erreicht werden, wenn es nicht gelingt, eine Trendumkehr bei den Emissionen des Haushaltssektors einzuleiten und durch verstärkte politische Maßnahmen zu beschleunigen. Da der weitaus überwiegende Teil der Emissionen auf die Bereitstellung der Raumwärme zurückgeht, können

im wesentlichen folgende Ursachen für die zögerliche Entwicklung der CO_2-Minderung im Gebäudebereich verantwortlich gemacht werden:

- Die nicht unerhebliche Anzahl von Neubauten im Zeitraum von 1990 bis 2001 hat zu Mehremissionen geführt. Dieser zusätzliche Wohnflächenbedarf, der sich auf rund 5 % des Bestandes von 1990 beläuft, hat verschiedene demographische, wirtschaftliche und soziale Gründe.

- Die energetische Sanierung im Altbaubereich ist nicht im erwarteten Umfang erfolgt. Die Hauptgründe hierfür sind:

  – Es fehlt an einer wirksamen Vollzugskontrolle. Viele Sanierungen werden nicht entsprechend den Wärmeschutzvorschriften ausgeführt. So wird bei Fassadenerneuerungen statt einer ausreichenden Wärmedämmung nur der Verputz oder die Farbe erneuert.

  – Es fehlt an umfassenden, wirtschaftlich attraktiven Anreizprogrammen. Die bisherigen Programme reichen offensichtlich nicht aus. Aufgrund der zum Teil noch unzureichenden Wirtschaftlichkeit werden energetische Sanierungsmaßnahmen entweder gar nicht oder nur in unzureichendem Maße durchgeführt.

Die Szenarioanalysen zeigen, dass die gesetzten Reduktionsziele nur zu erreichen sind, wenn es gelingt, die genannten Hemmnisse weitgehend abzubauen.

3.4.1.2 Zielsetzung und methodisches Vorgehen

Abgrenzung und Schwerpunktsetzung

Die Untersuchung bezieht sich auf die Analyse der CO2-Emissionen der Raumwärme- und Warmwasserbereitstellung im Haushaltssektor. Es werden nur die Emission des direkten Brennstoffeinsatzes (Heizöl, Gas uns Kohle) betrachtet. Die Emissionen von Strom und Fernwärme werden in den Kapiteln 3.8 und 3.9 behandelt.

Im Altbaubereich sind am Einzelgebäude Energie-Einsparpotenziale von 35 bis 75 % vorhanden sind. Diese Einsparpotenziale lassen sich mit einer Vollsanierung entsprechend der heutigen Verordnung umsetzen. Im Mittel kann man die Potenziale für den Bestand mit rund 50 % ansetzen. Daran hat die Warmwasserbereitung im Mittel einen Anteil von ca. einem Zehntel. Die vorliegende Analyse konzentriert sich deshalb besonders auf die Gebäudemodernisierung im Altbaubereich.

Einsatz des IKARUS-Raumwärmemodells

Zur rechnerischen Ermittlung des künftigen, szenarioabhängigen Energieverbrauchs für die Raumwärmebereitstellung der Haushalte wird das IKARUS-Raumwärmemodell verwendet.

Dieses Modell berechnet auf der Basis einer umfassenden Gebäude- und Heizungstypologie folgende Größen:

– den Heizwärmebedarf,
– den Brennstoffbedarf,
– die Emissionen (CO_2 und andere) sowie
– die Kosten von Wärmeschutzmaßnahmen.

Gebäude- und Heizungstypologie als Basis für die Rechnungen

Der deutsche Wohngebäudebestand setzt sich aus über 10 Mio. einzelnen Gebäuden mit einer entsprechend großen Anzahl unterschiedlicher Heizungsanlagen zusammen. Um diese unüberschaubare Vielfalt zu reduzieren und für Modellrechnungen zugänglich zu machen, wurden von namhaften Instituten Gebäude- und Heizungstypologien entwickelt, in denen der Bestand systematisch auf rund 60 repräsentative Gebäude- und etwa die gleiche Anzahl von Heizungstypentypen reduziert wird. Jeder Gebäude- und Heizungstyp repräsentiert ein mittleres Element seiner Klasse und ist durch einen vollständigen Satz von baulichen, energetischen und wirtschaftlichen Daten gekennzeichnet, mit denen gerechnet wird. Es sind sowohl existierende Gebäude- und Anlagentypen enthalten, die heute genutzt werden, als auch fortschrittliche zukünftige Optionen. Mit den Typologien der IKARUS-Datenbank, die alle relevanten Alters- und Größenklassen der realen Gebäude enthält sowie alle relevanten Heizungs- und Warmwasserbereitungssysteme, kann der gesamte Gebäudebestand in Deutschland einschließlich der Heizungsstruktur abgebildet werden.

Die statische Rechenprozedur

Die Berechnung des spezifischen Heizwärmebedarfs folgt dabei der europäischen Norm EN832. Das Modell erlaubt es, die Auswirkungen verschiedener Wärmedämm-Maßnahmen (Dach, Außenwand, Fenster, Keller) und verschiedener Maßnahmen zur Anlagenverbesserung (Niedertemperaturkessel, Brennwertkessel, Energieträgerwechsel, Solaranlage etc.) für ein Einzelgebäude aus der Typologie zu berechnen. Dabei können alle Systemparameter variiert werden, so dass grundsätzlich die Auswirkungen aller möglichen Maßnahmen gerechnet wer-

den können. Die aus den Szenarien abgeleiteten Maßnahmen werden dabei dem Modell von außen (modellexogen) in geeigneter Form vorgegeben.

Hiervon ausgehend kann auf beliebige Gebäudeensembles hochgerechnet werden, indem alle Typgebäude der Typologie nacheinander unter den festgelegten Bedingungen durchgerechnet werden. Dabei wird der Zustand jedes Typgebäudes mehrfach mit unterschiedlichen Heizsystemen berechnet, entsprechend der realen Vielfalt der Heizungsstruktur. Die große Zahl von Gebäude- und Heizungstypen führt dann zu einer Vielzahl von Kombinationsmöglichkeiten, die alle relevanten Fälle abdeckt. Die Gesamtwerte des Energieverbrauchs und der CO_2-Emission für ein Gebäudeensemble ergeben sich, wenn von den einzelnen berechneten Typgebäuden mit den relativen Flächenanteilen dieser Typgebäude an den jeweiligen Gesamtflächen hoch gerechnet wird. Solche Gebäudeensembles können einzelne Siedlungen, Städte oder Kommunen sein, bis hin zum Gesamtbestand der Bundesrepublik Deutschland, der in dieser Untersuchung betrachtet wird (Kleemann, M. et al. 2000).

Bis hier ist nur der statische Rechenablauf beschrieben, ohne eine zeitliche Komponente. Dies geschieht im nächsten Abschnitt.

Dynamische Szenariorechnungen

Das IKARUS-Raumwärmemodell ist ein dynamisches Simulationsmodell, das die zeitabhängige Entwicklung in Form von Szenarien simuliert. Die Zeitschritte umfassen in der Regel ein Jahr, wobei der Zeithorizont frei wählbar ist. Bei solchen Szenariorechnungen wird das Modell zuerst auf den vereinbarten Ausgangszustand in einem bestimmten Referenzjahr angepasst. Zur Modelljustierung werden die realen Daten des Bezugsjahrs verwendet.

Bestandsentwicklungen, Heizungsstrukturen, Wärmeschutzmaßnahmen für Neubauten und Sanierungsmaßnahmen für Altbauten werden in ihrer zeitlichen Abfolge vorgegeben. Dabei ist es möglich, sowohl Einzelmaßnahmen als auch unterschiedliche Maßnahmenkombinationen vorzuschlagen. Damit berechnet das Modell die resultierenden Wirkungen über einen festlegbaren Betrachtungszeitraum. In jedem Jahr wird dabei die gesamte Typologie durch gerechnet, wie im vorangehenden Unterkapitel „*Die statische Rechenprozedur*“ beschrieben. Auf diese Weise können Strategien bzw. Szenarien für verschiedene Fragestellungen im Hinblick auf Energiesparen und Klimaschutz untersucht werden. Es bleibt noch anzumerken, dass

das Raumwärmemodell kein Prognose- oder Optimierungsmodell ist, sondern ein Simulationswerkzeug.

3.4.1.3 Raumwärmerelevante Szenarioannahmen und Maßnahmen

Für die Analyse der Zukunftsentwicklung des Raumwärme- und Warmwasserbedarfs und der damit zusammenhängenden CO_2-Emissionen werden zwei Szenarios definiert:

1. Das „Ohne-Maßnahmen-Szenario“: Dieses Szenario dient zur Ermittlung einer fiktiven Entwicklung, die zu erwarten wäre, wenn die politischen Maßnahmen ab 1998 nicht ergriffen bzw. nicht beschlossen worden wären.

2. Das „Mit-Maßnahmen-Szenario“: Das „Mit-Maßnahmen-Szenario“ entspricht im wesentlichen einem aufgrund aktueller Einschätzungen modifizierten Referenzszenario der Enquete-Kommission (Enquete Kommission 2001). Verändert wurde die zukünftige Entwicklung der Wohnfläche (Tabelle 3.4-1). In diesem Szenario werden die nach 1998 beschlossenen und umgesetzten Maßnahmen berücksichtigt.

Die Tabelle 3.4-1 zeigt in der Zeile 1 die Entwicklung der Wohnflächen des Enquete-Referenzszenarios bis 2030. Es handelt sich um Bruttoflächen (inkl. Leerstände). Es ist anzumerken, dass die zukünftigen Wohngebäudeflächen des Enquete-Referenzszenarios aus Sicht anderer Experten und Studien wegen des Bevölkerungsrückgangs und der aktuellen Kürzungen der Eigenheimzulage als zu hoch eingeschätzt werden. Diese Überschätzung der Wohnflächen führt dazu, dass der Energieverbrauch und die CO_2-Emission in den nächsten 15 bis 20 Jahren im Referenzszenario der Enquete-Kommission deutlich steigen. Andere Studien, z.B. Kleemann et al. 2000, kommen hier zu günstigeren Ergebnissen für die zukünftige Entwicklung. Für das Mit-Maßnahmen-Szenario wird deshalb der Wohngebäudezuwachs modifiziert, indem die jährlichen Wachstumsraten nach Enquete halbiert werden. Der Unterschied im Gesamtbestand beläuft sich dadurch bis 2030 auf lediglich 15 %. Die Modifizierte Wohnflächenentwicklung ist in Zeile 2 der Tabelle 3.4-1 gezeigt. Sie stimmt mit geringen Abweichungen mit den Rahmendaten für die Optimierungsrechnungen in Tabelle 4.2-1 überein.

Tabelle 3.4-1 Rahmendaten des Enquete-Referenzszenarios und deren Umrechnung zum Mit-Maßnahmen-Szenario

			2000	2010	2020	2030
1	Wohnfläche (in Wohn- und Nichtwohngebäuden, ENQUETE Referenzszenario)	Mrd. m²	3,33	3,70	4,10	4,20
2	Modifizierte Wohnfläche (ohne Leerstände)	Mrd. m²	3,09*	3,30	3,50	3,60
* Wohnfläche für 2000 nach Kleemann et al. 2000						

Beide Szenarien werden durch eine Reihe von Annahmen und vor allem aber durch die Maßnahmen zum Klimaschutz definiert. Diese Annahmen und Maßnahmen werden in Rechenparameter umgesetzt, mit denen die Rechnungen durchgeführt werden.

Rechenparameter für das „Ohne-Maßnahmen-Szenario“

Das „Ohne-Maßnahmen-Szenario“ beschreibt die Entwicklung aufgrund der Maßnahmen, die bis 1998 in Kraft getreten sind. Diese Maßnahmen sind im wesentlichen in den früheren Studien zu den Projekten Politikszenarien I und II dokumentiert (FZJ 1997 und 1999). Die Schätzung der Energie- und CO_2-Einsparung dieser Maßnahmen erfolgt unter Berücksichtigung der nachstehenden Bedingungen und mit Hilfe der aufgeführten quantitativen Parameter:

- Bestandsveränderungen in Form von Neubauten und Abrissen werden entsprechend den Rahmendaten der Enquete Kommission 2002 berücksichtigt (Tabelle 3.4-1, Zeile 2).

- Die Wärmedämmung der Gebäudehülle erfolgt nach der Wärmeschutzverordnung von 1995 (WSchV95). Es wird pauschal unterstellt, dass der Wärmebedarf nach der WSchV95 im Mittel rund 25 % höher ist als nach der seit 2002 gültigen Energieeinsparverordnung.

- Es wird mit einem unvollständigen Vollzug gerechnet. Der Mehrverbrauch wird teils durch mangelnden Vollzug der Wärmeschutzverordnung und teils durch ein falsches Heizungs- und Lüftungsverhalten der Nutzer verursacht. Dieser Mehrverbrauch wird vom Forschungszentrum Jülich für die Neubauten durch einen Zuschlag von 25% berücksichtigt.

- Es wird mit einer niedrigen Sanierungseffizienz gerechnet. Nach Expertenschätzung des Forschungszentrums Jülich wird wegen des unzureichenden Vollzugs eine mittlere Sanie-

rungseffizienz für die Gebäudehülle von nur 37 % ermittelt. Dieser Wert wird unter den Bedingungen des „Ohne-Maßnahmen-Szenarios“ als etwas zu groß für die Übertragung auf ganz Deutschland gehalten. Die Rechnungen werden deshalb nur mit 30 % Sanierungseffizienz und mit einer mittleren Vollsanierungshäufigkeit von 0,6 % pro Jahr durchgeführt (vgl. Erläuterung der Begriffe in den Kästchen). Darin sind dann sowohl alle geförderten als auch alle nicht geförderten Sanierungen enthalten.

- Heizungsanlagen werden in den Rechnungen entsprechend dem üblichen Ersatzinvestitionszyklus erneuert. Bei der Erneuerung von alten Kesseln gegen neue Niedertemperatur- und Brennwertkessel können theoretisch Verbesserungen im Nutzungsgrad von 10 bis 25 % erwartet werden. Dies bedeutet bei einem über alle Gebäude gemittelten flächenspezifischen Jahresverbrauch für Raumwärme und Warmwasser von gut 200 kWh/m² eine Einsparung von 20 bis 50 kWh/m². Bei der praktischen Sanierung werden diese hohen, von Hersteller-Wirkungsgradangaben abgeleiteten Einsparungen aber bei weitem nicht in jedem Altbau realisiert. Ursache ist, dass die alte Heizung nicht optimal an den neuen Kessel angepasst ist, dass der Brennwerteffekt nicht voll genutzt werden kann, dass sonstige Restriktionen durch den Altbau vorhanden sind und dass der energetische Einfluss des Schornsteins meist nicht richtig bei der Energiebilanzierung erfasst wird (vgl. auch Luther 1996). Nach Expertenschätzungen des Forschungszentrums Jülich führt nur ein Drittel der Heizungserneuerungen zu Einsparungen von über 20 kWh/m², während die restlichen zwei Drittel nur im Bereich von 0 bis 20 kWh/m² liegen. Als Konsequenz aus dieser Tatsache werden die Rechnungen deshalb mit einem Abschlag von 50 % auf die maximal möglichen Einsparungen bei der Heizungserneuerung durchgeführt.

Erläuterung des Begriffs „Sanierungseffizienz“ für die Gebäudehülle

Die Sanierungseffizienz gibt das Verhältnis der tatsächlich ausgeführten Einsparung zu der Einsparung an, die bei einer Vollsanierung entsprechend der Verordnung erreichbar wäre. Sie ist als ein Mittelwert über eine längere Zeitperiode, z.B. von mehreren Jahren, zu verstehen. Als Bezug dienen die in dieser Periode sanierungsbedürftigen Gebäude. Eine Sanierungseffizienz von 0 % heißt, die Gebäude werden nur baulich saniert, aber nicht energetisch (z.B. Verputzen und Streichen der Fassade ohne Wärmedämmung). Bei einem Wert von 100 % wurden alle sanierungsbedürftigen Gebäude einer energetischen Vollsanierung entsprechend der Verordnung unterzogen. Sanierungseffizienzen zwischen 0 % und 100 % beschreiben energetische Teilsanierungen eines Teils der sanierungsbedürftigen Gebäude.

Erläuterung des Begriffs der „Vollsanierungshäufigkeit“

In der Sanierungspraxis werden an Gebäuden sowohl Einzelmaßnahmen (Teilsanierungen) als auch Vollsanierungen durchgeführt. Die Menge der Gebäudeflächen mit Teilsanierungen übersteigt die Anzahl der Gebäudeflächen mit Vollsanierungen. Durch den unterschiedlichen Sanierungszustand haben diese Gebäude eine unterschiedliche energetische Wertigkeit. Um dies rechnerisch aus zu bewerten wird auf die Vollsanierung bezogen. Es werden Vollsanierungsäquivalente gebildet. Dazu werden die Einsparungen teil- und vollsanierter Gebäude innerhalb einer bestimmten Zeitperiode (z.B. ein Jahr) zu einer Gesamteinsparung aufaddiert und durch die flächenspezifischen Einsparungen vollsanierter Gebäude dividiert. Wird die daraus resultierende Gebäudefläche auf den Gesamtbestand bezogen, dann ergibt sich die Vollsanierungshäufigkeit. Nach den Erfahrungen der Sanierungspraxis wird an jedem Gebäude innerhalb einer Zeitperiode von 50 Jahren jedes Bauteil mindestens einmal erneuert. Im Mittel sind also 2 % des Bestandes pro Jahr betroffen. Werden diese Gebäude mit einer Sanierungseffizienz von 30 % energetisch verbessert, dann ist die Vollsanierungshäufigkeit 0,6 % pro Jahr (2 % * 0,3).

- Weitere nennenswerte Verbesserungen beim Wirkungsgrad der neuen Gas- und Ölheizkessel sind in Zukunft kaum noch zu erwarten, da die derzeitigen Niedertemperatur- und Brennwertanlagen nach Auskunft der Hersteller laufend verbessert wurden und schon fast die Grenze des physikalisch Möglichen erreicht haben. Diese Entwicklung ist u. a. auch durch die Schaffung des Umweltzeichens im Heizkesselbereich unterstützt worden. Für den hier zugrunde gelegten Zeithorizont wird eine Verbesserung um ganz wenige Prozentpunkte eingerechnet. Die langfristige Entwicklung wird dadurch aber nur noch unwesentlich beeinflusst. Eine Folge der laufenden Kesselerneuerungen ist, dass die Einsparungen durch den Kesselaustausch in Zukunft immer geringer werden. Die zukünftigen neuen Kessel sind nicht mehr soviel besser sind als die Heutigen im Vergleich zu denen vor 25 Jahren. Während man heute noch 10 bis 25 % bei einem Kesseltausch sparen kann, werden es bei der nächsten Generation in 20 oder 25 Jahren nur noch wenige Prozentpunkte sein.

Maßnahmen für das „Mit-Maßnahmen-Szenario“

Auf Basis des Klimaschutzprogramms und der Koalitionsvereinbarungen sind für dieses Szenario die folgenden Maßnahmen relevant:

1. Das CO_2-Minderungsprogramm und das CO_2-Gebäudesanierungsprogramm der KfW. Letzteres einschließlich der 2003 erfolgten Modifizierung. Die Evaluierung beider Programme wird in Kapitel 3.4.1.4 ausführlich beschrieben.
2. Wohnraummodernisierungsprogramm der KfW: Die KfW hat von 1990 bis 2002 in den neuen Bundesländern die Sanierung von rund 4 Millionen Wohnungen unterstützt. Im Ap-

ril 2003 wurde das Wohnraum-Modernisierungsprogramm für die bundesweite Nutzung neu aufgelegt. Das Fördervolumen beläuft sich auf 8 Milliarden EUR. Die Förderung erfolgt in Form zinsgünstiger Kredite. Unterstützt werden: A. Modernisierung und Instandsetzung von selbstgenutzten und vermieteten Wohngebäuden. B. Verbesserungen des Wohnumfeldes bei Mehrfamilienhäusern. C. Rückbau von dauerhaft leer stehenden Mietwohngebäuden in den neuen Ländern und Berlin (Ost). Eine separate Evaluierung für dieses KfW-Programm liegt nicht vor. Des Weiteren sind noch keine Daten darüber vorhanden, welches Kreditvolumen jährlich abgerufen wird und wie es sich auf die drei Förderschwerpunkte verteilt. Nur der erste Förderschwerpunkt ist CO_2-wirksam. Dabei ist zu beachten, dass dieses Programm bevorzugt auf die bauliche Sanierung ausgelegt ist. Im Vergleich zu den beiden CO_2-Minderungsprogrammen der KfW, die auf Energiesparen ausgerichtet sind, dürfte der relative Anteil der energiebedingten Investitionen hier kleiner sein. Die beiden CO_2-Minderungsprogramme haben z.B. 2001 mit einer Kreditsumme von knapp 1,3 Mrd. EUR eine Netto-CO_2-Reduktion um 0,17 Mio. t erreicht (vgl. Abbildung 3.4.1.4-1). Unterstellt man für das neue Wohnraummodernisierungsprogramm eine Laufzeit von 5 Jahren und eine Verwendung von 40 % der Mittel für den Förderschwerpunkt A, dann entspricht das 0,64 Mrd. EUR pro Jahr. Im Vergleich zu den Reduktionen der beiden Minderungsprogramme im Jahr 2001 wird mit dem Wohnraummodernisierungsprogramm also weniger als die halbe CO_2-Reduktion pro Jahr erreicht werden.

3. Informations- und Beratungsangebote, weiterer Ausbau einer unabhängigen Energieberatung.
4. CO_2-Minderung in Bundesliegenschaften (umzugsbedingte Bauvorhaben in Berlin, Energiesparcontracting, Leitfaden „Nachhaltiges Bauen bei Bundesbauten“)
5. Städtebauförderungsprogramm
6. Förderprogramm zur Errichtung von Passivhäusern mit 30.000 Wohneinheiten.
7. Einführung der Energieeinsparverordnung (EnEV)
8. Maßnahmen 1.BImSchV zur Nutzungsgradsteigerung (Austausch der vor Oktober 1978 gebauten Heizkessel bis Ende 2006).
9. Mit dem Gesetz zur Fortentwicklung der ökologischen Steuerreform wurde beschlossen, den reduzierten Steuersatz für Nachtspeicherheizungen bis zum 31.12.2006 zu beschränken. Zugleich wurde ein Umrüstprogramm in Höhe von 10 Mio. EUR aufgelegt.

Rechenparameter für das „Mit-Maßnahmen-Szenario“

Aus den vorstehenden Maßnahmen lassen sich die folgenden Rechenparameter ableiten:

- Bestandsveränderungen in Form von Neubauten und Abrissen werden berücksichtigt, aber im Gegensatz zum „Ohne-Maßnahmen-Szenario“ wird hier mit einem geringeren Wohnflächenwachstum gerechnet (vgl. Tabelle 3.4.1.3-1). Die jährlichen Bestandszuwächse aus dem Referenzszenario der Enquete-Kommission wurden hier halbiert.

- Die Wärmedämmung der Gebäudehülle erfolgt nach der Energieeinsparverordnung von 2002 (EnEV).

- Der unzureichende Vollzug im Neubau wird berücksichtigt, wie im „Ohne-Maßnahmen-Szenario“ beschrieben.

- Bei der Sanierung der Altbauten wird ein geringfügig besserer Vollzug unterstellt. Dies wird begründet mit gewissen, wenn auch geringen, Bewusstseinsverbesserung bei den Nutzern und Besitzern aufgrund der vielen Informations- und Beratungsveranstaltungen und der inzwischen breiteren Wirkung der KfW-Programme und der vielen lokalen Programme. Dadurch wird ein gewisser Druck in Richtung eines besseren Vollzugs ausgeübt. Die Förderprogramme verlangen den Vollzug ja ausdrücklich. Aus diesen Gründen wird hier mit einer Sanierungseffizienz von 37 % gerechnet und einer Vollzugshäufigkeit von 0,75 % pro Jahr.

- Die Heizungserneuerung wird mit den beim „Ohne-Maßnahmen-Szenario“ beschrieben Erneuerungszyklen und Abschlägen berechnet. Bei der Umsetzung der Maßnahme Nr. 8, Erneuerung der ganz alten Kessel bis 2006, muss möglicherweise mit einem zum Teil unvollständigen Vollzug gerechnet werden, obwohl die Schornsteinfeger als unabhängige Kontrollinstanz die Einhaltung der 1.BImSchV überwachen. Die Umsetzung der Maßnahme wird sich deshalb auf einen etwas längeren Zeitraum ausdehnen. Die Situation hierzu ist in Kapitel 3.4.1.5 ausführlicher beschrieben.

- Die Energieträgerstrukturen der Raumwärme- und Warmwassererzeugung sind an PROGNOS 1999 und Kleemann et al 2000 angelehnt. Entscheidend ist, dass sich der Trend vom Öl hin zum Gas bis zum Zeithorizont fortsetzt. Der zugrunde gelegte Anteil der Solarthermie basiert allerdings auf dem Enquete-Referenzszenario mit einem Beitrag von rund 3,5 PJ Wärme aus den Kollektoren, der bis 2010 auf rund 25 PJ steigt. Dies wird mit einem durchschnittlichen Wachstum des jährlichen Zubaus der Kollektorfläche von 14 % erreicht.

Für die Raumwärmebereitstellung durch Strom (Nachtspeicherheizung) wird unterstellt, dass sich der Stromverbrauch von 2000 bis 2010 um 15 % und bis 2020 um ein Drittel verringert. Bei einer Lebensdauer der Nachtspeicherheizungen von rund 25 Jahren werden im Mittel 4 % des Bestandes pro Jahr erneuert. Dies entspricht 80.000 bis 100.000 Wohnungen pro Jahr. Würde in jedem Fall eine Umrüstung auf Erdgas erfolgen mit dem Aufwand einer nachträglichen Installation der Verteilungsrohr und Heizkörper, dann würde ein Investitionsbedarf von bis zu 0,9 Mrd. EUR entstehen. Angesichts dieses Vo-

lumens stellt das oben genannte Umrüstungs-Förderprogramm einen zu geringen Anreiz dar. Ein erhebliches Hemmnis für die Umrüstung stellt der Aufwand für die nachträgliche Verlegung der Rohrleitungen und der Heizkörper dar. Angesichts der Hemmnisse und da derzeit keine konkrete Programmevaluierungsdaten vorliegen, erscheint die oben gemachte Annahme über die Abnahme der Nachtspeierheizungen plausibel. Die für Raumheizung benötigte Strommenge reduziert sich bis 2010 gegenüber 2000 um rund 17 PJ und bis 2020 um 38 PJ.

3.4.1.4 Evaluierung der KfW-CO_2-Programme

Die folgenden Ausführungen basieren auf der Untersuchung von Kleemann et al. 2003, mit dem Titel „Klimaschutz und Beschäftigung durch das KfW-Programm zur CO_2-Minderung und das KfW-CO_2-Gebäudesanierungsprogramm“.

Kurzbeschreibung der KfW-Programme

Die KfW-Programme dienen der zinsgünstigen Finanzierung von Investitionen zur Energieeinsparung und zur CO_2-Reduzierung in Wohngebäude. Seit Anfang 2001 wurde neben dem schon seit 1996 laufenden Programm ein weiteres Förderprogramm eingerichtet. Die beiden jetzt existierenden Programme heißen:

- „KfW-Programm zur CO_2-Minderung“, hier „Programm96“ genannt und
- „KfW-CO_2-Gebäudesanierungsprogramm“, hier „Programm01“ genannt.

Die folgende Tabelle 3.4-2 stellt die Hauptmerkmale der beiden Programme gegenüber.

Tabelle 3.4-2 Vergleich der beiden KfW-Programme (vereinfacht)

Programm96	**Programm01**
Laufzeit: seit Anfang 1996	Laufzeit: seit Anfang 2001
Förderung von Einzelmaßnahmen	Förderung von Maßnahmenpaketen
Anforderungen: Keine besonderen Anforderungen, außer der Einhaltung der EnEV.	Anforderungen: Einhaltung der EnEV und einer Mindesteinsparung von 40 kg CO_2 /m²
Effektiver Zinssatz[1)] ca. 4,96 %	Effektiver Zinssatz[1)] ca. 2,93 %

1) Stand Februar 2002

Im Programm96 werden gefördert: Klimaschutzinvestitionen in Wohngebäuden, wie Wärmeschutz der Außenhülle, Brennwertkessel, Fern- oder Nahwärmeversorgung, KWK und Nut-

zung von erneuerbaren Energien. Passiv- und Energiesparhäuser werden hier nicht betrachtet. Im Programm01 werden gefördert:

Maßnahmenpaket 1:	Heizung, Dach und Außenwände (Zusatzmaßnahmen möglich)
Maßnahmenpaket 2:	Heizung, Dach, Keller und Fenster (Zusatzmaßnahmen möglich)
Maßnahmenpaket 3:	Heizung, Umstellung Energieträger und Fenster (Zusatzmaßnahmen möglich)
Maßnahmenpaket 4:	Maßnahmenkombinationen können gefördert werden, wenn der Darlehensnehmer nachweist, dass eine jährliche CO_2-Einsparung von 40 kg/m² erreicht wird.

Kreditzusagen bis Ende 2001

Die Kreditzusagen im Programm96 sinken von 716 Mio. EUR im Startjahr 1996 auf ein Minimum von 386 Mio. EUR im Jahre 1998 (vgl. Tabelle 3.4-3). Danach ist ein stetig aufsteigender Trend zu verzeichnen bis auf den Höchstwert der bisherigen Laufzeit von 786 Mio. EUR im Jahr 2001. Die steigende Kreditnachfrage ist als positiv zu werten. Immer mehr Gebäudeeigentümer sind willens, energiegerecht zu sanieren. Für das Programm01 werden 2001 erstmalig 495 Mio. EUR abgerufen.

Tabelle 3.4-3 Jährliche Kreditzusagen in Mio. EUR zu laufenden Preisen (nur für die Altbausanierung)

		1996	1997	1998	1999	2000	2001	Summe
Programm96	Altbau	716	436	386	685	564	786	3.573
Programm01	Altbau	-	-	-	-	-	495	495
Beide Programme	Altbau	716	436	386	685	564	1281	4.068

Geförderte Wohnflächen und Wohneinheiten bis 2001

Die Entwicklung der geförderten Altbau-Wohnflächen ist in Tabelle 3.4-4 zusammengestellt. Im Rahmen des Programms96 wurden in der Laufzeit von 1996 bis 2001 insgesamt 37,4 Mio. m² oder 438 000 Wohneinheiten saniert. Das sind im Jahresmittel rund 6,2 Mio. m² oder 73 000 Wohneinheiten. Im Jahr 2001 kamen im Rahmen des Programms01 2,5 Mio. m² oder 29 900 Wohneinheiten dazu. Bezogen auf den gesamten Wohnflächenbestand von rund 3 Mrd. m² entspricht die sanierte, kumulierte Menge von 40 Mio. m² einem Anteil von 1,3 %.

Tabelle 3.4-4 Jährlich geförderte Wohnfläche in Mio. m²

		1996	1997	1998	1999	2000	2001	Summe
Programm96	Altbau	8,9	5,3	4,4	5,9	5,3	7,6	37,4
Programm01	Altbau	-	-	-	-	-	2,5	2,5

Geförderte Sanierungsmaßnahmen im Programm96

In Tabelle 3.4-5 sind die Kreditzusagen im Jahr 2001 für die einzelnen Verwendungszwecke dargestellt.

Tabelle 3.4-5 Verteilung der Kredite des Programms96 zu laufenden Preisen für 2001

Sanierungsmaßnahmen	Mio. EUR	Anteil in % [2)]
1. Außenwanddämmung	191,5	24,3
2. Fensteraustausch	154,7	19,7
3. Dachdämmung	123,7	15,7
4. Kellerdämmung	29,7	3,8
Zwischensumme 1 - 4		63,5
5. Brennwertkessel (BWK)	116,7	14,8
6. NTK [1)] +Dämmung	47,2	6,0
Zwischensumme 1 - 6		*84,4*
7. BWK+Solaranlage	13,8	1,8
8. NTK+Solar+Dämmung	1,8	0,2
9. Nah-, Fernwärme	20,7	2,6
10. Wärmepumpe (WP)	19,9	2,5
11. Regenerative Energien	64,8	8,2
12. Kraft-Wärmekopplung	0,8	0,1
13. Keine Zuordnung	1,2	0,2
Summe 1 -13	*786,5*	*100,0*

1) NTK = Niedertemperaturkessel, 2) Anteil bezogen auf die Summe

Insgesamt werden für die Dämmmaßnahmen Nr. 1 bis 4 fast 65 % der Kredite verbraucht. Ein erheblicher Teil des verbleibenden Restes (15 %) entfällt auf die Installation von Brennwertkesseln. In die „konventionellen“ Maßnahmen Nr. 1 bis 6 zur Wärmedämmung und zur Heizungserneuerung fließt mit rund 85 % der weitaus größte Teil der Kredite. Auf die regenerativen Technologien Nr. 10 und 11 sowie die Kombimaßnahmen Nr. 7 und 8 entfallen zusammengenommen rund 13 %. Ihr Anteil ist jedoch von Jahr zu Jahr gestiegen. Nah- und Fernwärmesysteme beanspruchen rund 2,6 %, allerdings mit steigender Tendenz. Kraft-Wärmekopplung liegt mit lediglich 0,1 % am Schluss.

Geförderte Sanierungsmaßnahmen im Programm01

Aus Tabelle 3.4-6 geht hervor, dass mit 178,3 Mio. EUR oder 36 % der größte Teil der Kredite in das Paket 4 fließt. Die große Beliebtheit des Paketes 4 kann mit der Flexibilität der relativ frei wählbaren Maßnahmen erklärt werden. An zweiter Stelle auf der Beliebtheitsskala folgt das Paket 2 mit 131 Mio. EUR (26,5 %). Danach kommt dann Paket 1 und mit dem geringsten Volumen schließlich Paket 3.

Tabelle 3.4-6 Verteilung der Kredite im Programm01 auf die Maßnahmenpakete (2001)

		Mio. EUR	%
Paket 1	(2.054 Zusagen)	98,0	19,8
Paket 2	(2.742 Zusagen)	131,0	26,5
Paket 3	(1.886 Zusagen)	87,7	17,7
Paket 4	(3.206 Zusagen)	178,3	36,0
Summe		495,0	100,0

CO_2-Einsparungen durch die KfW-Programme bis 2001

Die Berechnung der CO_2-Einsparungen bei den Endverbrauchern erfolgt mit Hilfe des IKARUS-Raumwärmemodells. Die Effekte bei den Produzenten werden mit Hilfe eines volkswirtschaftlichen Input/Output Modells geschätzt. Die Input-Output-Methodik erlaubt die Bestimmung der Produktions-, Beschäftigungs- und Emissionswirkungen der durch die KfW-Programme induzierten zusätzlichen Endnachfrage und der damit verbundenen Vorleistungen. Die hierfür notwendige Datenbasis ist die vom Statistischen Bundesamt veröffentlichte Input-Output-Tabelle.

Das KfW-Programm induziert investive Maßnahmen und weitere Effekte, die als zusätzliche Endnachfrage Aktivitäten der Produktionssektoren anregen. Diese zusätzliche Endnachfrage ergibt sich als Summe z. T. gegenläufiger Einzeleffekte:

- *Investitionseffekt*: Investitionen in die Gebäude führen während der Programmlaufzeit zu einer Erhöhung der CO_2-Emission und der Beschäftigung.
- *Verdrängungseffekt*: Der Verdrängungseffekt, der durch die Energieeinsparungen beim Endverbraucher verursacht wird, verringert CO_2-Emission und Beschäftigung in der Energiewirtschaft.
- *Budgeteffekt*: Eine Nettobelastung (-entlastung) der Haushalte verdrängt (ermöglicht) konsumtive Ausgaben. Der Nettoeffekt kann über die eingesparten Energieträger und die laufende Kredittilgung ermittelt werden. Für die Wohnungswirtschaft kann nach Maßgabe der Wirtschaftlichkeit von Investitionen eine Nettoentlastung unterstellt werden. Eine solche Nettoentlastung kann zu höheren Investitionen im Wohnungsbau führen.

Die folgende Analyse konzentriert sich auf den Investitions- und den Verdrängungseffekt. Der Budgeteffekt lässt sich anhand der vorliegenden Informationen nicht hinreichend quantifizieren. Bei der derzeitigen Energiepreissituation kann es in den privaten Haushalten zu gewissen Nettobelastungen durch die Investition kommen, was Arbeitsplatzverluste auslösen

kann. Auf der anderen Seite werden durch das KfW-Programm Arbeitsplätze geschaffen, was zu zusätzlichen Einkommen und damit zu zusätzlichem Konsum führt, der durch erhöhte Produktion wieder einen positiven Beschäftigungseffekt hat. Diese beiden hier vernachlässigten Effekte dürften sich tatsächlich in einem bestimmten Umfang kompensieren, so dass der methodische Fehler wahrscheinlich nicht sehr groß ist.

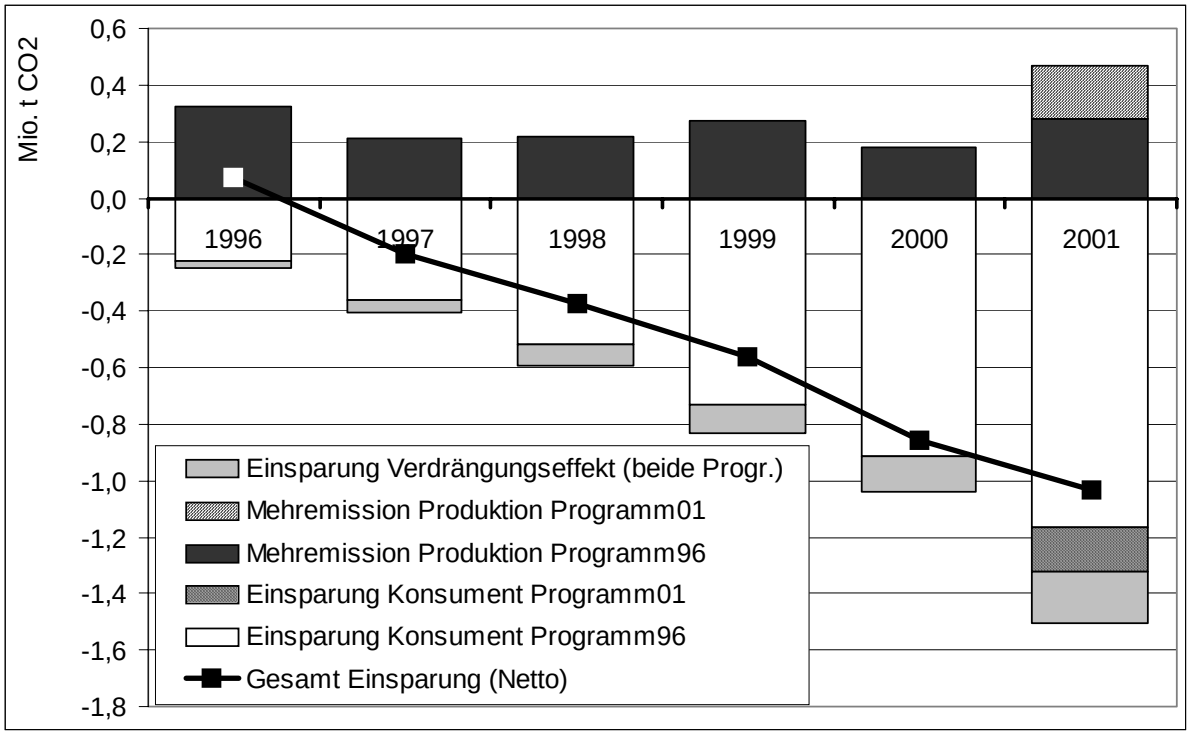
Die Netto-CO_2-Einsparung ergibt sich aus folgenden drei Komponenten:

+ Mehremissionen bei den Produzenten (Investitionseffekt), inkl. der Vorleistungen
./. Einsparungen aufgrund des Verdrängungseffektes in der Energiewirtschaft
./. Einsparungen bei den Konsumenten durch Verbesserung des Wärmeschutzes
= Netto-CO_2-Einsparung

Dabei nehmen die Einsparungen bei den Konsumenten und die Einsparungen durch den Verdrängungseffekt kumulativ zu; die erzielte CO_2-Minderung steigt stetig. Der Investitionseffekt wirkt dagegen nur in dem Jahr, in dem die Maßnahmen durchgeführt werden.

Bis Ende 2001 belief sich die Netto-CO_2-Einsparung durch das Programm96 und das Programm01 zusammen auf 1,0 Mio. t (Abbildung 3.4-2). Bezogen auf die Emission von 1990 entspricht das einer Minderungsrate von 0,7 %, die in der Laufzeit seit 1996 erreicht wurde.

Abbildung 3.4-2 Entwicklung der CO_2-Minderung im Altbaubereich

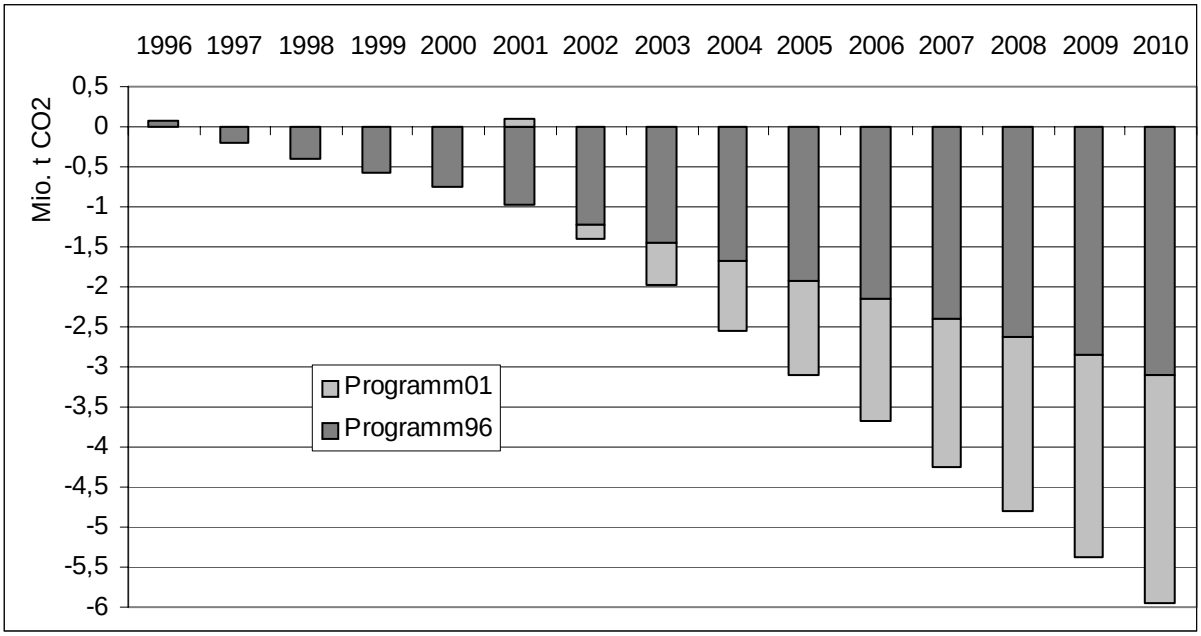


Fortschreibung der CO_2-Einsparung durch die KfW-Programme bis 2010

Problematisch ist, dass die von der Bundesregierung für die Zinsverbilligung bereit gestellten Mittel wegen des relativ geringen Anreizes nicht vollständig abgerufen werden. Um die Entwicklung bis 2010 zu schätzen wurden zunächst für das Programm96 die Kreditvolumina des Jahres 2001 von 800 Mio. EUR/a fort geschrieben und für das Programm01 wurde ein um 50 % höherer Wert von 750 Mio. EUR/a unterstellt. Aufgrund der sich inzwischen abzeichnenden Entwicklung werden sich die Gewichte wahrscheinlich stärker zugunsten des Programms 01 verschieben. Dem wurde in Abbildung 3.4-3 Rechnung getragen.

Für die Laufzeit der Programme ergibt sich bis Ende 2001 eine kumulierte jährliche Netto-Einsparung von rund 1,0 Mio. t CO_2. Schreibt man die jährliche CO_2-Einsparung fort, dann steigt sie bis 2005 auf 3 Mio. t pro Jahr (vgl. Abbildung 3.4-3). Die kumulative Minderung für 2010 beträgt rund 6 Mio. t. Überträgt man die mit der EU im Rahmen des Kyoto-Protokolls eingegangene Verpflichtung der Deutschen Regierung von -21 % bis 2008/2010 auf den Haushaltssektor, dann sind rund 29 Mio. t zu reduzieren. Davon kann mit 6 Mio. t ein Fünftel durch die KfW Programme realisiert werden.

Abbildung 3.4-3 Fortschreibung der Netto-CO_2-Einsparung im Altbaubereich für Programme96 und Programm01



Das neue KfW-Gebäudesanierungsprogramm

Im Jahr 2003 wurde das existierende KfW-Gebäudesanierungsprogramm modifiziert. Gefördert werden jetzt folgende Altbau-Sanierungs-Maßnahmenpakete:

Maßnahmenpaket 0:	Wärmedämmung der Außenwände und Daches und der Kellerdecke oder von erdberührten Außenflächen beheizter Räume und Erneuerung der Fenster.
Maßnahmenpaket 1:	Erneuerung der Heizung und Wärmedämmung des Daches und der Außenwände.
Maßnahmenpaket 2:	Erneuerung der Heizung und Wärmedämmung des Daches und der Kellerdecke oder von erdberührten Außenflächen beheizter Räume und Erneuerung der Fenster.
Maßnahmenpaket 3:	Erneuerung der Heizung und Umstellung des Heizenergieträgers und Erneuerung der Fenster.

Die einzelnen Maßnahmenpakete können im Rahmen des Kredithöchstbetrages um weitere Einzelmaßnahmen aus einem der anderen Pakete ergänzt werden.

Maßnahmenpaket 4:	Kombinationen außerhalb der Pakete 0 bis 3. Es ist nach zu weisen, dass mit den Maßnahmen eine CO_2-Einsparung von mindestens 40 kg/qm Gebäudenutzfläche und Jahr erreicht wird. Im Maßnahmenpaket 4 ist bei einer CO_2-Einsparung von mindestens 30 oder 35 kg pro qm Gebäudenutzfläche und Jahr eine Förderung mit geringeren Kredithöchstbeträgen möglich.
Maßnahmenpaket 5:	Austausch von Kohle-, Öl- und Gaseinzelöfen, Nachtspeicherheizungen sowie Kohlezentralheizungen durch den Einbau von Wärmeversorgungsanlagen im Sinne der EnEV. Austausch von Standardöl- und Gaskesseln, die vor dem 1. Juni 1982 eingebaut wurden, durch Öl- oder Gas-Brennwertkessel in Kombination mit Solarkollektoranlagen.

3.4.1.5 Altersstrukturen und Erneuerung der Heizungsanlagen

Die folgenden Ausführungen zur Altersstruktur und zum Vollzug bei der Erneuerung der Kessel- und Feuerungsanlagen basieren auf der Untersuchung von Kleemann et al. 2003. Für diese neue Studie wurden die Schornsteinfegerdaten einer repräsentativen Stichprobe von rund 5.000 Ölfeuerungen und rund 11.000 Gasfeuerungen verwendet. Diese Schornsteinfegerdaten enthalten u.a. das Alter der Anlagen, das systematisch ausgewertet wurde. Daraus lassen sich Aussagen über den Vollzug der Heizungserneuerungen ableiten.

Abbildung 3.4-4 und Abbildung 3.4-5 zeigen die Altersstrukturen der untersuchten Öl- und Gasfeuerungen als Häufigkeitsverteilungen, die über dem Alter (Baujahr) in äquidistanten Zeitintervallen von einem Jahr aufgetragen sind. Die relative Häufigkeit gibt an, wie viele

Anlagen bezogen auf den Gesamtbestand ein bestimmtes Alter haben (z.B. 4 % der Ölanlagen wurden 1986 installiert).

In den Bildern zeigen sich für öl- und gasgefeuerte Anlagen deutlich zwei Trends:

- Ab etwa 1992/1993 bis 2000 nimmt die Anzahl der jährlich installierten Anlagen stetig ab. Es gibt verschiedene Ursachen für diesen Rückgang. Nachdem ein gewisser Erneuerungsbedarf in den neuen Bundesländern gedeckt wurde kam es hier zu einem Rückgang der Nachfrage. Außerdem hat das insgesamt zurück gegangene Neubauvolumen den Kesselmarkt zusätzlich reduziert. Ein weiterer wesentlicher Grund ist die gesunkene Bereitschaft eines Teils der Anlagenbetreiber, ihre alten Anlagen rechtzeitig zu erneuern. Viele werden gegen wirtschaftliche und ökologische Vernunft so lange weiter betrieben, wie sie gerade noch funktionieren.

  Es fällt auf, dass die Abnahme bei den Ölfeuerungen im Trend stärker ist als bei den Gasfeuerungen. Dies wird im Altbaubereich durch den Wechsel vom Öl hin zum Gas verursacht und im Neubaubereich durch die hohe Gasanschlussrate, die bei rund 70 % liegt.

- Der Anteil der älteren Anlagen sinkt mit steigendem Alter, weil ein zunehmender Teil erneuert wurde. Dies ist bei Ölanlagen ab etwa 1986 der Fall und bei den Gasanlagen ab 1991. Interessant ist, dass ein ganz erheblicher Anteil von alten und sehr alten Anlagen noch existiert. Lässt man das untere 3 % Perzentil außer Acht, dann beträgt die Lebensdauer von Ölanlagen etwa 20 bis 35 Jahre und die von Gasanlagen 14 bis 30 Jahre. Das ist wesentlich länger als in der Literatur oft angegeben wird.

Beide Trends belegen, dass der Vollzug der Heizungserneuerungen langsamer erfolgt als dies aus Klimaschutzgründen wünschenswert ist. Dies hat einen dämpfenden Einfluss auf die Umsetzung der Maßnahmen 7 und 8 in Kapitel 3.4.1.3. Knapp 20 % der ölgefeuerten Anlagen und gut 10 % der Gasanlagen wurden vor 1979 installiert. Sie müssten entsprechend den Maßnahmen 7 und 8 bis 2006 erneuert werden, was einen erheblichen Erneuerungsschub bedeuten würde. Aufgrund der Vergangenheitsentwicklungen und der fehlenden Vollzugskontrolle ist jedoch davon auszugehen, dass die nicht erfolgt. Die Umsetzung der Erneuerungen wird sich wahrscheinlich mit den geringen Raten wie in den letzten Jahren vollziehen.

Interessant sind noch die Spitzen in Abbildung 3.4-4 und Abbildung 3.4-5, die sich in den Zeiträumen von 1978 bis 1979 und von 1991 bis 1992 in beiden Kurven zeigen. Sie weisen auf eine erhöhte Erneuerungsrate hin. Ursache ist die Förderung der Heizungsmodernisierung nach §82a EStDV, die von 1978 bis 1992 lief. Am Anfang wurde das Programm offensichtlich besonders stark angenommen, deshalb die Impulse Ende der 70´er Jahren, die heute an der Altersstruktur noch deutlich zu erkennen sind. Gegen Ende des Programms hat dann noch ein großer Teil der Anlagenbesitzer diese steuerliche Absetzungsmöglichkeit genutzt. Dies

verdeutlicht, dass Förderprogramme zur Heizungsmodernisierung den Vollzug bei der Heizungserneuerung deutlich verbessern.

Abbildung 3.4-4 Altersstruktur der Ölfeuerungen

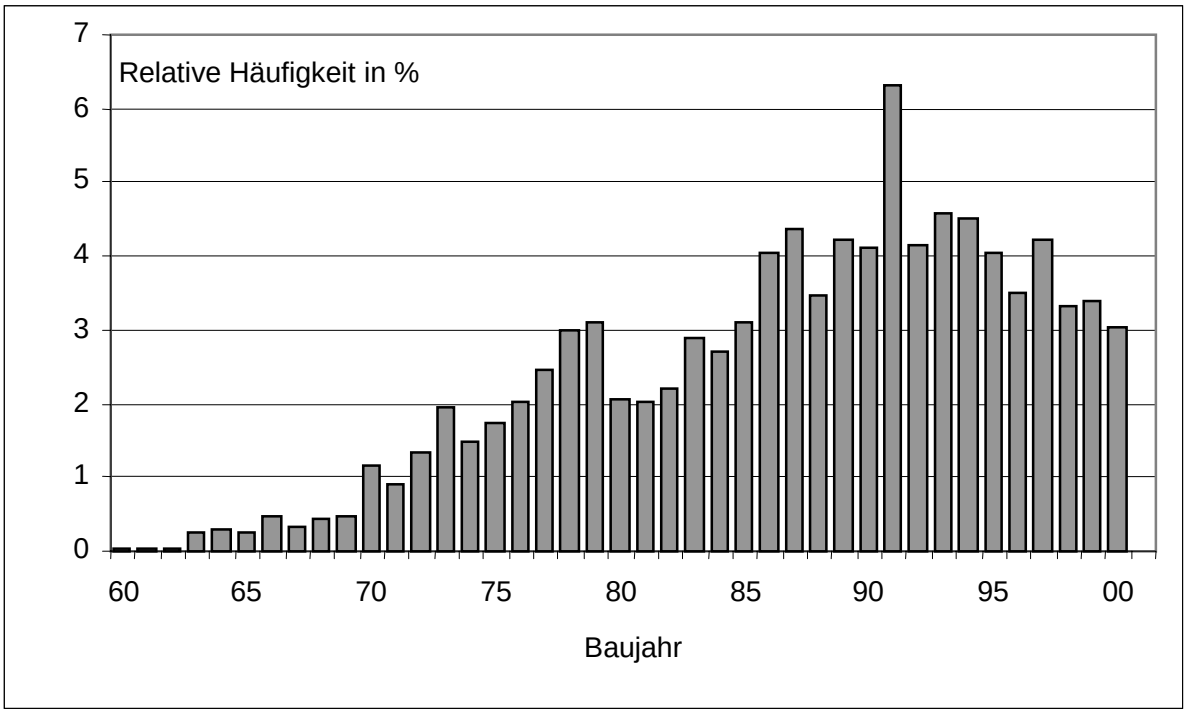
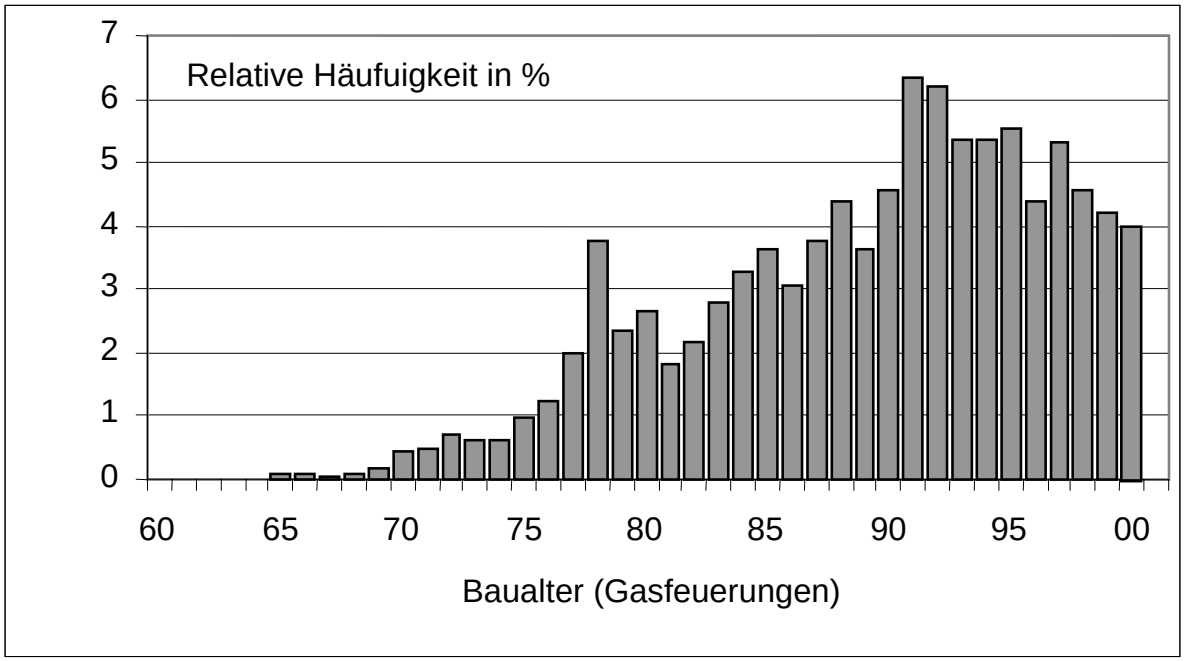


Abbildung 3.4-5 Altersstruktur der Gasfeuerungen



3.4.1.6 Exkurs: Schlüsselrolle der Altbaumodernisierung für den Klimaschutz[47]

Deutschland verfügte 2002 über Gebäudeflächen von rund 4 Mrd. m². Davon entfallen 3 Mrd. m² auf Wohngebäude mit insgesamt 37 Mio. Wohnungen. Der Rest von knapp 1 Mrd. m² sind gewerblich genutzte Nichtwohngebäude. Alle Gebäude, die vor Einführung der zweiten Wärmeschutzverordnung 1984 gebaut wurden, entsprechen bei weitem nicht mehr den heutigen Anforderungen und sind energetisch sanierungsbedürftig, sofern sie nicht schon modernisiert wurden. Tatsächlich sind rund 75 % der heute vorhandenen Gebäude vor 1985 gebaut worden. Dies zeigt das große Energie- und CO_2-Einsparpotenzial im Gebäudebereich.

Bezogen auf den heutigen Bestand wird das realistische CO_2-Einsparpotenzial im Altbaubereich durch Heizungserneuerung und durch verbesserte Wärmedämmung auf 55 bis 70 Mio. t CO_2 geschätzt. Im Vergleich zum Gesamtausstoß des Sektors im Jahre 1990 entspricht das einem Minderungspotenzial von 40 bis 50 %. Bei der Schätzung des gesamten künftigen Gesamtpotenzials sind aber noch die Mehremissionen durch Neubauten abzuziehen.

Sanierung schafft bessere Lebensräume

Die Sanierung von bestehenden Gebäuden trägt eher mit dazu bei, vorhandene ökologische, soziale und sonstige Strukturen und Abläufe in einem Stadtgebiet zu erhalten, als Abriss und Neubau. Außerdem wird das kulturelle Erbe durch die Sanierung gepflegt und erhalten. Die Gebäude werden durch eine Renovierung ästhetisch aufgewertet und technisch weitgehend auf den aktuellen Stand gebracht. Die Wohnqualität wird erheblich verbessert. Der Nutzer genießt eine höhere thermische Behaglichkeit durch die bessere Wärmedämmung, hat meist verbesserte Lichtverhältnisse und weniger Feuchtigkeits- und Schimmelprobleme. Durch die Sanierung wird aber auch nach außen ein positives Wohnumfeld geschaffen. Alles zusammen führt zu einer höheren Wohnzufriedenheit und schafft Lebensräume für morgen. So wird ein wesentlicher Beitrag zu einer nachhaltigen Stadtentwicklung geleistet.

Sanierung erhält die Bausubstanz und schont Ressourcen

Wohngebäude haben in Deutschland eine Lebensdauer von 150 bis 200 Jahren mit einem Renovierungszyklus von 30 bis 60 Jahren (Mittelwert 50 Jahre). Innerhalb eines solchen Reno-

---

[47] Bei diesem Abschnitt handelt es sich weitgehend um die Wiedergabe eines Textes in dem Sondervotum der Fraktionen von CDU/CSU und FDP einschließlich der von ihnen benannten Sachverständigen zum Gesamtbericht der Enquete-Kommission. Vgl. Bundestags-Drucksache 14/9400, S. 541 ff.

vierungszyklus werden alle Gebäudeteile (Dach, Außenwände, Fenster) mindestens einmal renoviert oder ganz erneuert. Der Restwert eines Gebäudes ist in der Regel auch nach mehreren Renovierungszyklen noch so hoch, dass eine Renovierung immer noch wirtschaftlich günstiger ist als ein Abriss mit anschließendem Neubau. Aber auch ökologisch ist die Erhaltung bestehender Gebäude die sinnvollste Maßnahme, weil sie den sparsamsten Umgang mit Ressourcen darstellt. Bis 2050 werden noch rund 75 % der heutigen Bausubstanz existieren.

Sanierung spart Energie und Geld

Durch eine energetische Sanierung entsprechend dem derzeitigen Stand der Technik und der Verordnungen können an alten Gebäuden, je nach Baualter, Zustand und Gebäudetyp, mit einer Vollsanierung von Gebäudehülle und Heizungsanlage Energieeinsparungen von 50 bis 75 % erreicht werden. Damit wird insbesondere der Einsatz fossiler Energieträger wie Erdgas und Heizöl reduziert und ein Beitrag zur Ressourcenschonung, zur Umweltentlastung und zur Verringerung der Energieimporte geleistet.

In vielen Fällen kommt die energetische Altbausanierung dann in den Bereich der Wirtschaftlichkeit, wenn sie zusammen mit der ohnehin anstehenden baulichen Instandsetzung durchgeführt wird. Für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der energetischen Modernisierung ist dann nur die Differenz zwischen den Gesamtkosten und den ohnehin fälligen Ausgaben anzusetzen. Für den Gebäudebesitzer ist die Wertsteigerung der Immobilie durch die Sanierung wichtig.

Sanierung mindert die Emission von Luftverunreinigungen und CO_2

Die Verringerung des Energieverbrauchs in sanierten Gebäuden wirkt sich unmittelbar in einer geringeren Emission von Luftverunreinigungen wie Stickoxiden, Kohlenwasserstoffen und Schwefeldioxid aus. Damit wird ein direkter Beitrag zur Verbesserung der Umgebungsluftqualität geleistet, die Ozonvorläufersubstanzen Kohlenwasserstoffe und Stickoxide werden gemindert und die Möglichkeit der Bildung von saurem Regen aus Schwefeldioxid und Stickoxid wird verringert.

Für den Klimaschutz ist jedoch wesentlich, dass mit jeder Einheit nicht verbrannter fossiler Energie CO_2 eingespart wird. Die Altbausanierung kann einen wirksamen Beitrag zum Klimaschutz liefern. Wie oben ausgeführt betragen die langfristigen Potenziale für den gesamten Gebäudebestand rund 55 bis 70 Mio. t CO_2.

3.4.1.7 Energieverbrauch und CO_2-Emission bis 2010

Entwicklung des Energieverbrauchs bis 2010

Abbildung 3.4-6 und Tabelle 3.4-7 zeigen die Entwicklung des gesamten Endenergieverbrauchs für den Haushaltssektor und den Brennstoffverbrauch (ohne Strom und Fernwärme) für Raumwärme (RW) und Warmwasser (WW). Die Verbrauchsangaben sind temperaturbereinigt.

Die im Optimierungsmodell zugrunde gelegten Istwerte liegen etwas über den hier nach Enquete Kommission (2002) verwendeten Zahlen. Für 2000 beträgt die Abweichung aber nur +3,5%. Ursache dürfte ein geringfügig anderer Ansatz zur Temperaturbereinigung sein.

Im „Ohne-Maßnahmen-Szenario“ (OMS) wird bis 2010 gegenüber 1990 ein Anstieg um knapp 18 % erreicht. Die entsprechenden Veränderungen im Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) betragen rund 11 %.

Abbildung 3.4-6 Entwicklung von Energieverbrauch im Haushaltsektor und von Brennstoffverbrauch für Raumwärme und Warmwasser bis 2010 (temperaturbereinigt)

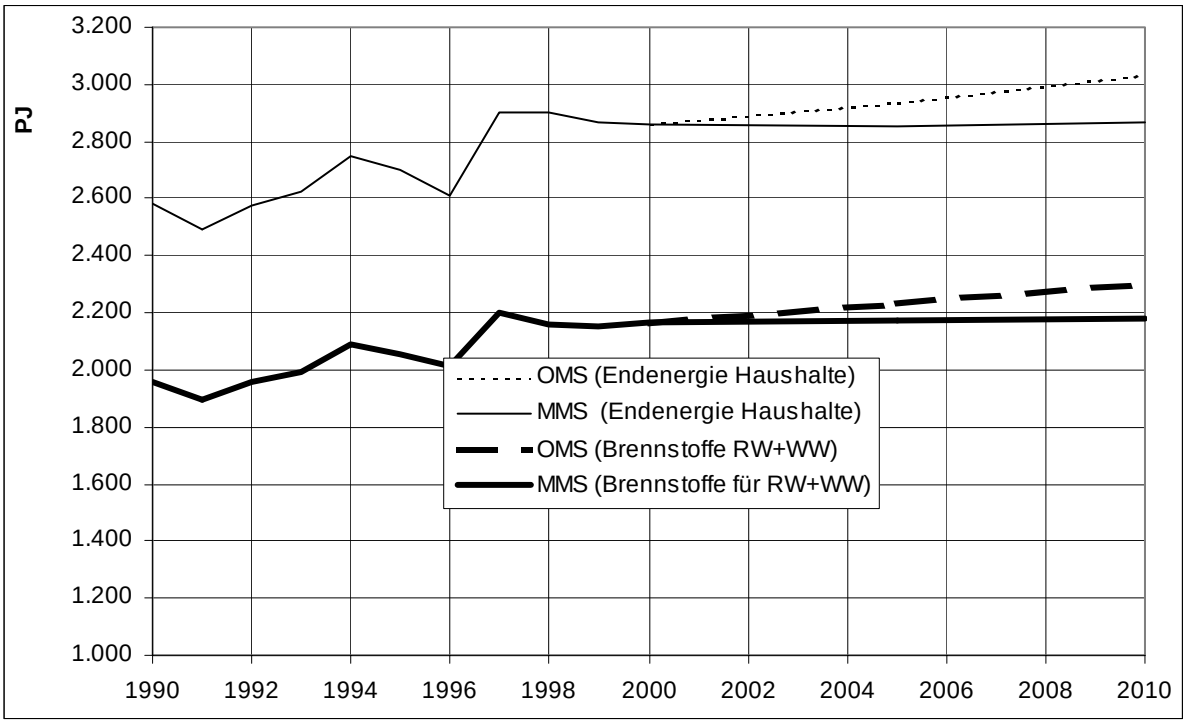


Tabelle 3.4-7 Entwicklung von Energieverbrauch im Haushaltsektor und von Brennstoffverbrauch für Raumwärme und Warmwasser bis 2010 (temperaturbereinigt)

Szenarien	1990	1995	2000	2005	2010
	Endenergieverbrauch des Haushaltssektors in 1000 PJ				
OMS	2,58	2,70	2,86	2,94	3,04
MMS	2,58	2,70	2,86	2,86	2,87
	Veränderung des Endenergieverbrauchs bezogen auf 1990 in %				
OMS	0	4,7	10,9	13,9	17,7
MMS	0	4,7	10,9	10,7	11,2
	Brennstoffverbrauch für Raumwärme und Warmwasser in 1000 PJ				
OMS	1,96	2,05	2,17	2,23	2,31
MMS	1,96	2,05	2,17	2,17	2,18
	Veränderung des Brennstoffverbrauchs bezogen auf 1990 in %				
OMS	0,0	4,7	10,5	14,0	17,8
MMS	0,0	4,7	10,5	10,8	11,4

Entwicklung der CO_2-Emissionen bis 2010

Entsprechend der üblichen Bilanzierungsvereinbarung werden nur die direkten CO_2-Emissionen erfasst, die durch den Verbrauch der Brennstoffe in den Haushalten entstehen.

Die Entwicklung der CO_2-Emissionen folgt tendenziell derjenigen des Energieverbrauchs, allerdings fällt die relative Minderung stärker aus. Ursache hierfür ist der Brennstoffwechsel einer nicht unerheblichen Anzahl von Gebäudebesitzern. Der Anteil der gasgefeuerten Heizkessel steigt in Zukunft weiter, während Ölkessel kontinuierlich abnehmen und kohlegefeuerte Öfen und Heizungen weitgehend auslaufen. Hinzu kommt ein zunehmender Anteil solarthermischer Anlagen. Dies alles bewirkt eine zusätzliche Reduzierung der CO_2-Emissionen.

Tabelle 3.4-8 und Abbildung 3.4-7 zeigen die Entwicklung der direkten CO_2-Emissionen:

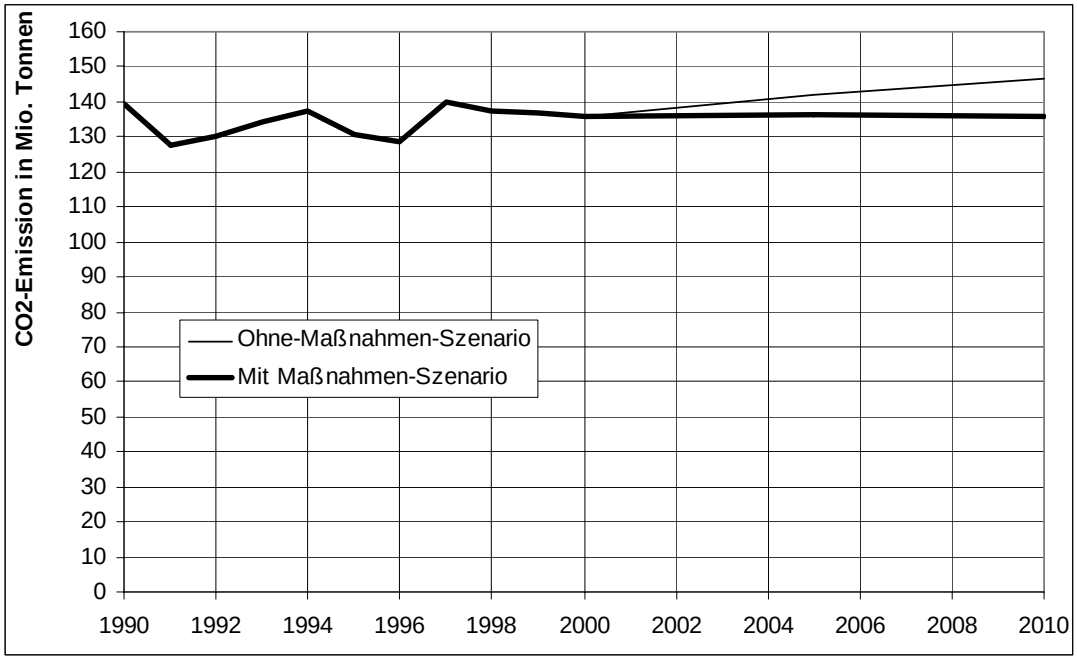
- Das „Ohne-Maßnahmen-Szenario“ verzeichnet für 2010 gegenüber 1990 eine Mehremission von rund 8 Mio. t oder 5,8 %.
- Im modifizierten Mit-Maßnahmen-Szenario tritt eine Reduktion von 3,6 Mio. t oder 2,6 % auf. Eine Trendwende, hin zu einer deutlichen Unterschreitung der CO_2-Emission von 1990, ist nicht erkennbar.

Im „Mit-Maßnahmen-Szenario“ wird bis 2010 eine Emission von 136 Mio. t erreicht. Dieser Wert stimmt mit dem Ergebnis der Optimierungsrechnungen in Tabelle 4.3-4 überein.

Tabelle 3.4-8 Direkte CO_2-Emission der Haushalte von 1990 bis 2010

Szenarien	1990	1995	2000	2005	2010
	CO2-Emission in Mio. t				
Ohne-Maßnahmen-Szenario	139	131	136	142	148
Mit-Maßnahmen-Szenario	139	131	136	137	136
	Veränderung gegenüber 1990 in %				
Ohne-Maßnahmen-Szenario	0	-6,3	-2,5	1,8	5,8
Mit-Maßnahmen-Szenario	0	-6,3	-2,5	-2,1	-2,6

Abbildung 3.4-7 CO_2-Emission der Haushalte von 1990 bis 2010



Die Einsparungen des Mit-Maßnahmen-Szenarios gegenüber dem „Ohne-Maßnahmen-Szenario“ von rund 11,6 Mio. t verteilen sich im Jahr 2010 auf die Haupt-Maßnahmen wie in der nachstehenden Tabelle 3.4-9 gezeigt.

Tabelle 3.4-9 Aufteilung der CO_2-Minderung im Jahre 2010 auf die Maßnahmen des „Mit-Maßnahmen-Szenarios“

Maßnahmen des Mit-Maßnahmen-Szenarios	Einsparungen gegenüber dem OMS in Mio. t CO_2
1. KfW-CO_2-Minderungsprogramm (Programm96)	3,0
2. KfW-CO_2-Gebäudesanierungsprogramm (Programm01)	2,9
3. KfW-Wohnraummodernisierungsprogramm	2,5
4. Maßnahmen Nr. 3 bis 9 und autonom durchgeführte Einsparungen außerhalb der KfW-Programme	3,2
Summe	11,6
OMS = Ohne-Maßnahmen-Szenario	

Dabei ist zu beachten, dass bei den Einsparungen durch die KfW-Programme die Maßnahme Nr. 7, Einführung der EnEV mit eingerechnet ist (Maßnahmenüberschneidung). Ein weiteres, in diesem Rahmen nicht zu lösendes Problem sind die Mitnahmeeffekte. Könnte man diese quantifizieren, so wären sie dem „Ohne-Maßnahmen-Szenario“ anzurechnen. In Anbetracht dieser Probleme sind in Tabelle 3.4-9 nur die Haupt-Maßnahmen separat ausgewiesen.

Die Wirkung der relativ geringen Preiserhöhung von Heizöl im Rahmen der ökologischen Steuerreform von 2,05 Cent je Liter dürfte, wenn überhaupt, nur sehr kurzfristig gewesen sein. Diese Preiserhöhung wird durch die üblichen Preisschwankungen am Heizölmarkt bei weitem überdeckt. So schwankte der Wert im ersten Halbjahr 2003 von 33,0 bis 45,5 Cent/Liter (inkl. MWSt). In den Jahren 2002 und 2001 betrugen die Schwankungsbreiten 31,5 bis 39,8 Cent/Liter und 31,5 bis 44,7 Cent/Liter (Quelle: Tecson).

Grundsätzlich lassen sich die Wirkungen von mehreren Maßnahmen besser in der Summe darstellen, weil man dann davon ausgehen kann, dass sich Schwankungen bis zu einem gewissen Grad gegenseitig ausgleichen. Die Summe der Einsparungen ist deshalb mit einem höheren Grad an Sicherheit darstellbar. Ein großes Hemmnis, das grundsätzlich einer schnellen Umsetzung der Potenziale entgegensteht, ist der lange Sanierungszyklus der Gebäudehülle von rund 50 Jahren, der sich aus der Lebensdauer der Bauteile ergibt. Dazu kommt dann noch der unzureichende Vollzug. Bei einer Vollsanierungsrate von 0,6 bis 0,75 % pro Jahr, wie sie hier verwendet wurde und wie sie der gegenwärtigen Praxis entspricht, würde die vollständige energetische Sanierung des Bestands rechnerisch rund 135 bis 165 Jahre dauern.

Eine deutlich stärkere CO_2-Reduktion als im „Mit-Maßnahmen-Szenario“ bis 2010 und über 2010 hinaus erfordert eine erhebliche Verschärfung der Minderungsmaßnahmen. Dies betrifft:

- effizienter und breiter angelegte Förderprogramme,
- weiter verschärfte Wärmeschutzanforderungen im Neubaubereich um 25 % ab 2010,
- Durch die Begrenzung der Eigenheimzulage wird sich die Bauaktivität stärker vom Neubau- in den Altbaubereich verschieben. Die bei den anderen Szenarien unterstellte Neubaurate wird hier deshalb halbiert.
- Sanierungseffizienz und Vollzug der Verordnungen zu 100%,
- zunehmender Einsatz hocheffizienter Brennwertkessel, bis 2020 werden nur noch Brennwertkessel installiert,
- verstärkte solare Warmwasserbereitung.
- energiebewussteres Nutzerverhalten aufgrund von Motivations- und Informationsprogrammen

Literatur zu Kapitel 3.4.1

Bartholomai B. (2001), Schlechte Aussichten für den Wohnungsbau, DIW-Wochenbericht 3/01, Berlin.

BLB (1999): Bayerische Landesbank (Hrsg.): Der Immobilienmarkt im neuen Jahrtausend. Langfristige Trends und Visionen, München, 1999.

BMWi 2000, Energie Daten 2000, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie Bonn.

Enquete Kommission (2001), Berichte der Enquete Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“ des Deutschen Bundestages der 14. Wahlperiode, Drucksache 14/7509, 14.11. 2001, Berlin.

Enquete Kommission (2002), Endbericht der Enquete Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“ des Deutschen Bundestages der 14. Wahlperiode, Potenziale und Optionen im Sektor Haushalte, Drucksache 14/9400, 07.07. 2002, Berlin.

FZJ (1997 und 1999), Politikszenarien für den Klimaschutz, Band 1 und Band 5, Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt, Band 5 und Band 20, Jülich.

IKARUS-Datenbank (1999): IKARUS-Datenbank Version 3.1, Fachinformationszentrum Karlsruhe, 1999.

IMA (2000), Nationales Klimaschutzprogramm, Beschluss der Bundesregierung vom 18. Oktober 2000, Fünfter Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe „CO_2-Minderung“, S. 253 ff, Berlin, 18. Oktober 2000.

KfW (2002): Daten zum CO_2-Minderungsprogramm und zum CO_2-Gebäudesanierungsprogramm bis 2001, Frankfurt.

Kleemann M., Heckler R., Kraft A. und Kuckshinrichs W. (2003): Klimaschutz und Beschäftigung durch das KfW-Programm zur CO_2-Minderung und das KfW-CO_2-Gebäudesanierungsprogramm, Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt, Jülich 2003, Veröffentlichung im Juli 2003.

Kleemann M., Heckler R., Krüger B. (2003), Umweltschutz und Arbeitsplätze durch die Tätigkeiten des Schornsteinfegerhandwerks, Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt, Jülich.

Kleemann M. et al.(2000), Die Entwicklung des Wärmemarktes für den Gebäudesektor bis 2050, Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt, Band 23.

Kleemann M., Kuckshinrichs W. und Heckler R. (1999): CO_2-Reduktion und Beschäftigungseffekte durch das CO_2-Minderungsprogramm der KfW, Eine modellgestützte Wirkungsanalyse, Schriften des Forschungszentrums Jülich. Reihe Umwelt Band 17, ISBN 3-89336-2444-4.

Luther G. (1996), Folgenschwerer Denkfehler in der Kleinfeuerungsanlagen-Verordnung, Gesundheits- Ingenieur, 117. Jahrgang, Heft 3, s. 113-164.

PROGNOS 1999, Die längerfristige Entwicklung der Energiemärkte im Zeichen von Wettbewerb und Umwelt, Untersuchung im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, Basel.

SBA (1998): Statistisches Bundesamt: Im Blickpunkt: Die Bevölkerung der Europäischen Union heute und morgen – mit besonderer Berücksichtigung der Entwicklung in Deutschland, Stuttgart, Metzler-Pöschel, 1998, ISBN 3-8246-0295-4.

Schiffer H.-S. 2002, Deutscher Energiemarkt 2001, Energiewirtschaftliche Tagesfragen 52.Jg. 2002, Heft 3.

TECSON Apparate GmbH (Tecson): Vgl. http://www.tecson.de

UBA (1999): Politikszenarien für den Klimaschutz II, Szenarien und Maßnahmen zur Minderung von CO_2-Emissionen in Deutschland bis 2020, bearbeitet von DIW, FZJ-STE, FZJ-TFF, FhG-ISI, Öko-Institut, Berlin, Jülich, Karlsruhe.

Ziesing H.-J. 2001, CO_2-Emissionen: Trendwende noch nicht in Sicht, DIW-Wochenbericht 45/01, Berlin.

3.4.2 Stromverbrauch in Haushalten (Öko-Institut)

3.4.2.1 Bisherige Entwicklung

Der Stromverbrauch der privaten Haushalte in Deutschland betrug im Jahr 2001 131,1 TWh, das waren rund 12 % mehr als 1990. Allerdings zeigen sich von Mitte der neunziger Jahre an deutliche Sättigungstendenzen. Fast 18 % des Haushaltsstromverbrauches wurden im Jahre 2001 für Heizzwecke (Elektroheizung plus Kleinheizgeräte) und reichlich 11 % für die Warmwasserbereitung verwendet. Von den sonstigen Haushaltsgeräten[48] waren allein die sieben größten Gerätegruppen für rund 39% des gesamten Haushaltsstromverbrauchs verantwortlich. Dazu zählen Kühlschränke (8,6%), Gefrierschränke (8,3%), Elektroherde (7,7%), Waschmaschinen (3,6%), Geschirrspüler (2,7%), Wäschetrockner (2,4%) sowie Fernsehen, Radio, Video und PC (zusammen 5,8%) (Tabelle 3.4-10).

Tabelle 3.4-10: Haushaltsstromverbrauch nach Anwendungsarten 2001

Anwendung	Anteil (%)
Beleuchtung	7,0
Kühlschrank	8,6
Gefriergerät	8,3
Elektroherd	7,7
Waschmaschine	3,6
Wäschetrockner	2,4
Geschirrspüler	2,7
Warmwasser	11,2
TV, Audio, Video, PC	5,8
Kleinheizgeräte	2,2
Elektroheizung	15,6
Sonstige	24,9
Summe	100,0

Quelle: VDEW 2003, Berechnungen Öko-Institut

Tabelle 3.4-10 schließt auch den Stromverbrauch durch Leerlaufverluste der Geräte mit ein. Die Leerlaufverluste in Privathaushalten betrugen 1995 laut einer Untersuchung des Umweltbundesamtes (UBA 1999) 14 TWh[49], was mehr als 11% des Stromverbrauches in Haushalten

[48] Als Haushaltsgeräte werden hier solche Elektrogeräte bezeichnet, die im Haushalt zum Einsatz kommen.

[49] Die Leerlaufverluste in Haushalten setzen sich zusammen aus Verlusten bei Fernsehen und Video (6 TWh), Audio (2,3 TWh), Warmwasserhaltung (2,3 TWh), private Telekommunikation und Uhren in Haushaltsgeräten (knapp 1 TWh), Haustechnikeinrichtungen (0,6 TWh) sowie Informationstechnik und sonstiges (je rund 0,5 TWh).

ausmacht. Das Umweltbundesamt (UBA 2001) geht in einer neueren Untersuchung davon aus, dass die Leerlaufverluste in Haushalten noch größer sind. Insbesondere eine größere Anzahl von PCs und die stark angestiegene Zahl von Netzteilen seien verantwortlich für diese Entwicklung. Daraus wird ein gesamter jährlicher Leerlaufverlust von 13,3 TWh ermittelt, wobei die Leerlaufverluste bei der Warmwasserbereitung nicht berücksichtigt sind.

Ein weiterer großer Stromverbraucher im Haushalt sind Heizungsumwälzpumpen. Aus Unterlagen zum Impulsprogramm des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit (Impulsprogramm 2003) geht hervor, dass in Ein- und Zwei-Familien-Häusern der Stromverbrauch durch Heizungsumwälzpumpen dem von Kühlschränken nahe kommt. Laut BINE 2001 beträgt der gesamte in Deutschland von Heizungsumwälzpumpen verbrauchte Strom etwa 3,5 % des gesamten deutschen Stromverbrauchs.

3.4.2.2 Auswirkung bereits ergriffener Maßnahmen

Im fünften Bericht der interministeriellen Arbeitsgruppe „CO_2-Reduktion“ (IMA CO_2 2000), sind die Maßnahmen und Instrumente aufgeführt, die die Bundesregierung plant oder ergriffen hat, um ihren Verpflichtungen zum Klimaschutz nachzukommen. Es werden „produktbezogene Kennzeichnung, Energielabel, Information und Beratung, F+E-Aktivitäten, Vereinbarungen mit der Elektro- und Elektronikindustrie, Energiestandards und ordnungsrechtliche Maßnahmen“ als Instrumente zur Senkung des Stromverbrauchs in Haushalten aufgeführt. Tabelle 3.4-11 listet die Maßnahmen auf, die den Stromverbrauch in Haushalten betreffen, und die erwarteten CO_2-Reduktionen bis zum Jahr 2005, soweit diese quantifiziert werden können.

Die Wirkungen der laufenden und bereits abgeschlossenen Maßnahmen im Hinblick auf die Reduzierung von Treibhausgasen sind allerdings nur sehr schwer zu quantifizieren. Insbesondere ist der Nutzen von Maßnahmen, die sich auf Information, Aus- und Fortbildung sowie auf Forschung und Entwicklung beziehen, kaum messbar.

Es fraglich, ob das von der Initiative Energieeffizienz propagierte Reduktions-Ziel von 2 Millionen Tonnen CO_2 als realistisch betrachtet werden kann. Mordziol 2003 schätzt ein, dass der Beitrag der Kampagne zur CO_2-Reduktion bei weniger als 0,1 Millionen Tonnen liegen wird, sofern es überhaupt möglich sein wird, der Kampagne eine entsprechende Einsparung nachzuweisen.

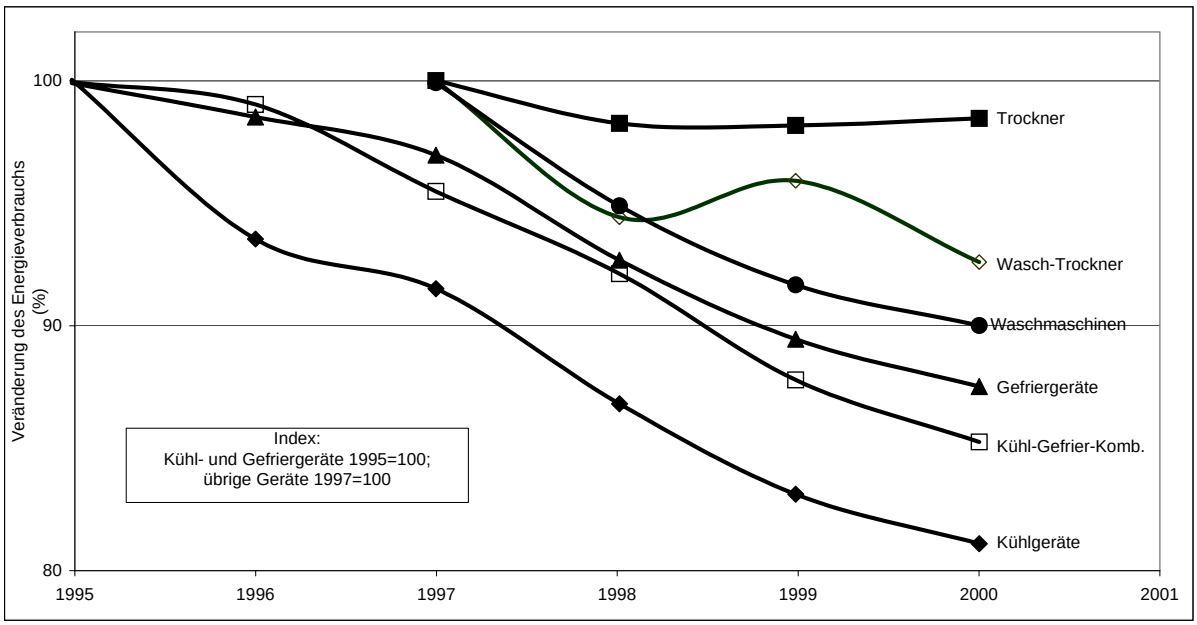
Tabelle 3.4-11: Geplante und ergriffene Maßnahmen der Bundesregierung zur Reduktion des Stromverbrauches in Haushalten und erwartete CO_2-Emissionsminderung

Maßnahme	**Erwartete CO_2-Reduktion bis 2005 gegenüber 1990 (Mio. t)**
Intensivierung der Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsanstrengungen	
Maßnahmen im Bereich Stromverbrauch sowie insbesondere Stand-by-Verbrauch von Elektro- und Elektronikgeräten in Haushalten und Büros; Selbstverpflichtungen bzw. Verschärfung und Ausweitung des Energieverbrauchkennzeichnungsgesetzes	5
Kampagne "Klimaschutz in privaten Haushalten"	
EU-weite Höchstverbrauchsstandards für stromintensive Haushaltsgeräte sowie Stand-by	
Forcierte Marktdurchdringung modernster Haustechnik wie [...] energieeffiziente Haushaltsgeräte, Kommunikationstechnik und Unterhaltungselektronik	
Initiative Energieeffizienz	2

Quelle: Agricola 2003, IMA CO_2 2000

Das Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI) hat zusammen mit der GfK Marketing Services GmbH und Co. KG die Studie „Evaluierung zur Umsetzung der Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung (EnVKV)“ durchgeführt (ISI, GfK 2001). Die Kennzeichnungspflicht nach EnVKV gilt unter anderem für Kühl- und Gefriergeräte, Waschmaschinen, Wäschetrockner und Geschirrspülmaschinen. In der Studie wurde untersucht, wie die EnVKV von Händlern und Herstellern befolgt wurde sowie wie sich der Verkauf von Haushaltsgroßgeräten nach Energieeffizienzklassen zwischen 1995 und 2000 entwickelt hat. Aus diesen Angaben wurde die Auswirkung auf Stromeinsparung und CO_2-Emissionen bis zum Jahr 2000 berechnet. Abbildung 3.4-8 zeigt die Veränderung des spezifischen Stromverbrauchs von Haushaltsneugeräten zwischen 1995 und 2000.

Abbildung 3.4-8: Veränderung des spezifischen Stromverbrauchs von Haushaltsneugeräten (1995 – 2000)



Quelle: ISI, Gfk 2001

Verglichen mit dem Fall eines konstanten spezifischen Stromverbrauches, ergibt sich allein für das Jahr 2000 eine CO_2-Einsparung von rund 150.000 t. Den größten Anteil tragen hieran die Kühl- und Gefriergeräte mit rund 85 %. Tabelle 3.4-12 zeigt die CO_2-Einsparung zwischen 1995 und 2000, differenziert nach den einzelnen Geräten.

Tabelle 3.4-12: Jährliche CO_2-Einsparung durch Effizienzverbesserung bei Haushaltsneugeräten (1995 – 2000)

	1996	1997	1998	1999	2000	Gesamt
	(t CO_2)					
Kühlgeräte	25.200	33.200	51.600	66.300	74.500	250.800
Kühl-Gefrierkombinationen	1.900	8.200	14.300	22.200	26.700	73.300
Gefriergeräte	3.000	6.300	15.700	22.400	26.500	73.900
Waschmaschinen			9.700	15.700	18.900	44.300
Wasch-Trockenautomaten			1.500	1.100	2.000	4.600
Trockner			1.900	2.100	1.800	5.800
Insgesamt	30.100	47.700	94.700	129.800	150.400	452.700

Quelle: ISI, Gfk 2001

Diese CO_2-Einsparung ist jedoch nicht alleinige Konsequenz der Einführung der EnVKV. Zum einen fand eine autonome Effizienzentwicklung statt, zum anderen hat sich die Energieeffizienz bereits im Vorfeld durch die Vorgaben der EU-Richtlinien 92/75/EWG und 96/57/EG (sowie deren Durchführungsrichtlinien), deren erwartete Umsetzung in deutsches Recht und den Verkauf der Geräte in Länder, in denen die Richtlinien bereits umgesetzt waren, verbessert. Die mehrjährige Verspätung, mit der die Bundesregierung die Kennzeichnungspflicht eingeführt hat (durch Umsetzung der betreffenden EU-Richtlinien in deutsches Recht), hat jedoch dazu beigetragen, dass die Einsparungen nicht noch größer sind. Weitere gegenläufige Effekte, wie die teilweise Kompensierung der Effizienzentwicklung durch die Größenzunahme der Geräte, haben ebenfalls dazu geführt, dass die Einsparungen nicht noch größer ausfallen.

Literatur zu Kapitel 3.4.2

Agricola 2003: Das Ziel der Initiative Energieeffizienz ist es, CO_2-Emissionen in Höhe von 2 Millionen t bis zum Jahr 2005 einzusparen. Persönliche Mitteilung Annegret Agricola, DEnA, 25.3.2003

BINE 2001: Stromsparende Pumpen für Heizungen und Solaranlagen. Projektinfo 13/01. BINE Informationsdienst. http://www.bine.info

IMA CO_2 (Interministerielle Arbeitsgruppe „CO_2-Reduktion“) 2000: Fünfter Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe „CO_2-Reduktion“, Berlin

Impulsprogramm 2003: Das Fachwissen der vernünftigen Energieverwendung im Wohnungsbau, http://www.impulsprogramm.de

ISI, GfK 2001: Evaluierung zur Umsetzung der Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung (EnVKV), Projektnummer 28/00, Abschlussbericht an das Ministerium für Wirtschaft und Technologie, Karlsruhe (ISI), Nürnberg (GfK)

Mordziol 2003: Persönliche Mitteilung Christoph Mordziol, UBA, Dezember 2003

UBA 1999: UBA-Texte 05/1999, Klimaschutz durch Minderung von Leerlaufverlusten bei Elektrogeräten -Instrumente-, Berlin

UBA 2001: Klimaschutz durch Effizienzsteigerung von Geräten und Anlagen im Bereich Haushalte und Kleinverbrauch – Sachstand/Projektionen/CO_2-Minderungspotentiale. Berichtsnummer UBA-FB 298 97 345. Wuppertal Institut für Klima Umwelt Energie GmbH, ebök Ingenieurbüro für Energieberatung, Haustechnik und ökologische Konzepte GbR, Wuppertal, Tübingen.

VDEW 2003: Haushaltsstromverbrauch nach Anwendungsarten 2001, http://www.hea.de

3.5 Verkehr (DIW Berlin)

3.5.1 Ausgangssituation und Ziel

Auf den Verkehrssektor entfiel in Deutschland im Jahr 2000 ein Anteil am Endenergieverbrauch von 30 % (Industrie 26 %, Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen 44 %). Dieser Anteil hat in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich zugenommen. Im Jahre 1970 betrug er in Westdeutschland noch 17 %, 1991 im vereinten Deutschland 26 %. Bezogen auf den Mineralöleinsatz liegt der Anteil des Verkehrs derzeit bei rund zwei Dritteln.

Neben dieser Bedeutungszunahme im Vergleich zu den anderen Energieverbrauchern wies der Verkehrssektor bis 1999 – als einziger Bereich – gegenüber dem Jahr 1991 noch Steigerungen der absoluten Energieverbrauchsmengen auf (1991: 2460 Petajoule, 1999: 2779 Petajoule). Zwar sind gewisse Rückgänge beim spezifischen Kraftstoffverbrauch der Fahrzeuge zu verzeichnen; dennoch hat die Zunahme der Fahrleistungen (vor allem im Straßengüterverkehr) sowie der Trend zu immer größeren und leistungsstärkeren Fahrzeugen diesen Effekt in der Vergangenheit immer übertroffen und insgesamt ein Ansteigen des Energieverbrauchs bewirkt.

Erstmals in 2000 hat der Endenergieverbrauch des Verkehrssektors um mehr als 1% auf 2745 PJ abgenommen. Während der Verbrauch von Dieselkraftstoff (DK) 2000 gegenüber 1999 noch geringfügig (1 %) zunahm, war beim Verbrauch von Vergaserkraftstoff (VK) ein Rückgang von 5 % zu verzeichnen. In 2001 setzte sich diese rückläufige Entwicklung fort. Der VK-Verbrauch sank gegenüber dem Vorjahr um 2,9 %; erstmals ist auch der DK-Verbrauch, der bis 2000 kontinuierlich stieg, um 1,5 % zurückgegangen. Die in 2001 ebenfalls rückläufige Entwicklung bei den Flugkraftstoffen (Kerosin) um 1,3 % ist auf den Einbruch des Luftverkehrs nach dem 11. September 2001 zurückzuführen und darf nicht dazu verleiten, hieraus schon auf eine Trendwende auf dem Weg zu weniger CO_2-Emissionen im Luftverkehr zu schließen.

Im motorisierten Individualverkehr nahm der Endenergieverbrauch in 200 um 3,8 % und in 2001 nochmals um 2,1 % jeweils gegenüber dem Vorjahr ab. Im Straßengüterverkehr war die Abnahme des Energieverbrauchs in 2001 mit 2,9 % beträchtlich; vor dem Hintergrund einer Steigerung der Fahrleistungen im Straßengüterverkehr um 1,8 % ist dieser Rückgang bemerkenswert. Im Individualverkehr korrespondieren Energieverbrauchs- und Fahrleistungsent-

wicklung weitgehend. Die ersten verfügbaren Informationen für 2002 deuten auf einen weiterhin rückläufigen Energieverbrauch hin.

Auch bei den Emissionen von CO_2 ist eine zum Treibstoffverbrauch vergleichbare Entwicklung festzustellen: Die Bedeutung des Verkehrssektors als Emittent von CO_2 nahm relativ zu den übrigen Verursacherbereichen ständig zu (1992: 19,1 %, 1999: 22 %); die absolut emittierte Menge stieg kontinuierlich (1999: 191,5 Mio. t). Auch hier ist es 2000 erstmalig (nach 1994) zu einer Emissionsminderung um 1,9 % gekommen.

Inwieweit sich hier möglicherweise schon eine Trendwende andeutet, die eine substantielle Ursache in der ökologischen Steuerreform haben könnte, bleibt abzuwarten. Einiges spricht dafür, jedoch ist auch in Rechnung zu stellen, dass der starke Dollar (gegenüber der DM bzw. dem Euro) und die steigenden Rohölabgabepreise ebenfalls die Kraftstoffpreise hoch getrieben haben. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass die relativ verhaltene Konjunktur- und Einkommensentwicklung der letzten Jahre gleichermaßen auf die allgemeine Verkehrsentwicklung und das Verhalten der Verkehrsteilnehmer gewirkt haben dürften. Im Rahmen dieser Studie können die Effekte der angesprochenen Einflussfaktoren nicht separiert und einzeln betrachtet werden.

Der Verkehrsbereich ist auch künftig ein überdurchschnittlich wachsender Bereich. Verkehrsleistungen haben in der Präferenzskala der privaten Haushalte noch immer eine herausgehobene Bedeutung und der Transport von Gütern ist innerhalb von komplexer werdenden Logistiksystemen die essentielle Voraussetzung dafür, produktionswirtschaftliche Vorteile durch stärkere Arbeitsteilung, effiziente Beschaffungssysteme und Lagerhaltung bis hin zu einer Neuorganisation von Wertschöpfungsketten im Rahmen des Einsatzes neuer IuK-Techniken zu realisieren. Mit den bislang umgesetzten politischen Maßnahmen zur Beeinflussung des Verkehrssystems ist es nicht essentiell bzw. nur eingeschränkt gelungen, die Zunahme der Verkehrsleistungen auf weniger umweltbelastende Verkehrsträger zu verlagern bzw. durch technische Verbesserungen steigende Verkehrsleistungen mit sinkendem Energieverbrauch und weniger Umweltbelastungen in Einklang zu bringen.

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, Instrumente und Maßnahmen zu analysieren, mit denen auf mittlere und lange Frist auch das Verkehrssystem einen nennenswerten Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung leisten kann. Zunächst werden die bisher (d.h. ab 1998) ergriffenen Maßnahmen in Bezug auf ihre CO_2-Reduktion analysiert und bewertet. Der Ausweis

der quantitativen Wirkungen erfolgt für die Jahre 2005 und 2010 mit einem Ausblick auf 2020. In einem zweiten Arbeitsschritt werden dann weitere Maßnahmen analysiert, die insgesamt eine spürbar nachhaltigere Verkehrsentwicklung erwarten lassen. Der Zeithorizont für diese Betrachtung reicht bis zum Jahr 2030.

3.5.2 Methodische Anmerkungen und Arbeitsschwerpunkte

Das DIW hat sich in mehreren Untersuchungen mit den Möglichkeiten einer Verminderung der CO_2-Emissionen des Verkehrsbereichs auseinandergesetzt.[50] Zur Zentralfrage "welche Maßnahmen bzw. Maßnahmenbündel sind am ehesten geeignet, die CO_2-Emissionen zu reduzieren", sind vom DIW zahlreiche Vorschläge unterbreitet worden, die auch heute noch größtenteils Gültigkeit haben. Im Rahmen dieser Untersuchung geht es vor allem darum, die Maßnahmen- und Maßnahmenbündel zu aktualisieren und an den aktuellen Verkehrsmengengerüsten und Projektionszieljahren neu zu justieren und gegebenenfalls hinsichtlich ihrer Intensität bzw. Ausprägung vorgegebenen Reduktionszielen anzupassen.

Bei der Wirkungsanalyse der Einzelmaßnahmen im Verkehrsbereich ergeben sich erhebliche methodische Probleme. Die verschiedenen Einzelmaßnahmen stehen häufig in Wechselbeziehungen zueinander; die Wirkungen können sich

- *ergänzen und verstärken* (z.B. Geschwindigkeitsverringerungen, Erhöhung der Mineralölsteuer, Maßnahmen zur Verstetigung des Verkehrsflusses, Vorgabe von Kraftstoffverbrauchs- bzw. CO_2- Grenzwerten, allgemeine Schulung in mehr Energieeffizienz, Informationskampagnen), sich
- *überlagern* (z.B. verbesserte Kooperation und Verknüpfung der Verkehrsträger, integrierte Verkehrsplanung, Bahnstrukturreform) oder auch
- *neutralisieren* (Stärkung der kombinierten Verkehre, Verlagerung des Transitverkehrs auf Schiene und Schiff und Ausbau der Schienenwege und Wasserstraßen einerseits sowie Antistauprogramm und Ausbau des Straßennetzes andererseits).

---

[50] Hervorzuheben sind hier: DIW (Projektleitung), ifeu, IVU, HACON (1994): Verminderung der Luft- und Lärmbelastungen im Güterfernverkehr 2010. Gutachten im Auftrag des Umweltbundesamtes (Forschungsbericht 104 05 962). In: Berichte des Umweltbundesamtes Nr.5/1994, DIW, FhG-ISI, Öko-Institut, STE (1997): Stein G. und Strobel B. (Hg.): Politikszenarien für den Klimaschutz, Untersuchungen im Auftrag des Umweltbundesamtes. Band 1, Szenarien und Maßnahmen zur Minderung von CO_2-Emissionen bis zum Jahre 2005.Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt Band 5. Jülich; TÜV Rheinland Sicherheit und Umweltschutz GmbH (TSU), Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW Berlin) , Wuppertal Institut (WI) und Forschungsstelle für Europäisches Umweltrecht an der Universität Bremen (2001): Maßnahmen zur verursacherbezogenen Schadstoffreduzierung des zivilen Luftverkehrs. Gutachten im Auftrag des Umweltbundesamtes. In Texte des Umweltbundesamtes, Heft 17/01. Berlin sowie Hopf, R. und Voigt, U.: Instrumente und Maßnahmen einer nachhaltigen Energieversorgung. Entwicklungspfade im Bereich Mobilität. Gutachten im Auftrag des Deutschen Bundestages vorgelegt dem Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag, Berlin Dez. 2001.

Gleiches gilt im übrigen auch für Entwicklungen und Entscheidungen in anderen Politikfeldern und Bereichen, die in ihren Auswirkungen die CO_2-Reduktionsbemühungen im Verkehrssektor unterstützen (z.B. raumsparende Flächennutzungspolitik) oder darauf kontraproduktiv wirken können (z.B. Bau von Einkaufszentren auf der grünen Wiese, Zersiedelung oder Globalisierung und Internationalisierung von Wirtschaft und Handel).

Bei allen Einzelmaßnahmen ist zwischen kurz-, mittel- und langfristigen Reaktionen der Verkehrsteilnehmer zu unterscheiden. Auf eine kräftige Kraftstoffverteuerung - z.B. über eine Anhebung der Mineralölsteuer - wird es kurzfristige Reaktionen geben, die sich auf mittlere und längere Sicht jedoch durch Gewöhnung und Anpassung (z.B. Umschichtung der Haushaltsbudgets, höhere Einkommen) erheblich vermindern dürften.

Außerdem ist zu beachten, dass viele Einzelmaßnahmen nur qualitativ (z.B. integrierte Verkehrsplanung) benannt werden bzw. hinsichtlich ihrer Ausprägung (z.B. emissionsbezogene Kfz-Steuer bei Pkw) nicht quantifiziert werden und dass ferner viele Einzelmaßnahmen im Betrachtungszeitraum nicht vollständig oder anders umgesetzt werden (z.B. Bahnstrukturreform, emissionsabhängige Landegebühren).

Angesichts der vielen Unwägbarkeiten und der häufig nicht quantifizierbaren oder auch kontraproduktiven Wirkungen einzelner Maßnahmen erlauben die ermittelten CO_2-Minderungspotenziale lediglich einen groben Vergleich verschiedener Maßnahmen hinsichtlich ihres möglichen CO_2-Reduktionsbeitrages. Wegen der vielfältigen Wechselbeziehungen (Überlappungen, ergänzenden Wirkungen, Kontraproduktivitäten) sind die Wirkungen von Einzelmaßnahmen im Verkehrsbereich auch nicht addierbar.

Die Bundesregierung hat neben den bereits ergriffenen Maßnahmen weitere Maßnahmen konzipiert und vorgesehen, die bisher allerdings noch nicht in die Realität umgesetzt worden sind. Teilweise sind diese Maßnahmen in ihrer Ausprägung und Ausgestaltung noch nicht präzisiert und definiert worden, teilweise ließ sich eine Umsetzung von angedachten Maßnahmen aufgrund erheblicher nationaler und europäischer Widerstände (z.B. Aufhebung der Steuerbefreiungen für den gewerblichen Luftverkehr) bisher nicht verwirklichen. Diese Maßnahmen werden im nächsten Arbeitsschritt konkretisiert und mit zusätzlichen Maßnahmen zur Reduktion der verkehrsbedingten CO_2-Emissionen untersucht. Nach einer Analyse und Bewertung der Einzelmaßnahmen aus verschiedenen Politikbereichen werden diese zu effizienten Maßnahmenbündeln zusammengefasst.

Für den Luftverkehr werden separate Überlegungen angestellt. Die im bodengebundenen Personen- und Güterverkehr zu Grunde gelegten Instrumente und Maßnahmen wären auf den Luftverkehr nur sehr eingeschränkt anwendbar. Angesichts der Bedeutung des Luftverkehrs für die klimarelevanten Emissionen wird er in dieser Studie in Anlehnung an eine für das Umweltbundesamt durchgeführte Studie gesondert berücksichtigt.[51] Der Zeithorizont dieser Untersuchung ist das Jahr 2020.

Das Ziel aller Maßnahmen und Maßnahmenbündel ist es, Anreizmechanismen für CO_2-Reduktionen über den Weg von Energieeinsparungen im Personen- und Güterverkehr oder durch Kraftstoffsubstitutionen zu schaffen. Die wichtigsten Reaktionsmöglichkeiten sind:

- geringere Motorisierung (Personenverkehr),
- höhere Besetzung (Personenverkehr) und höhere Auslastung (Güterverkehr) der Fahrzeuge,
- Veränderung der Verkehrsmittelwahl (Personen- und Güterverkehr),
- kürzere Fahrtziele (Personenverkehr) und kürzere Beschaffungs- und Absatzwege und Vermeidung von Leerfahrten (Güterverkehr),
- Herstellung, Anschaffung und Nutzung verbrauchseffizienterer sowie sparsamerer Fahrzeuge (Personen- und Güterverkehr),
- Verkehrsvermeidung (Personen- und Güterverkehr),
- andere Antriebstechniken und Treibstoffe sowie
- generell ein energieverbrauchsbewussteres Verhalten (Personen- und Güterverkehr).

3.5.3 Überlegungen zum verkehrsbezogenen Referenzszenario

Im Folgenden sollen zwei mögliche Referenzszenarien skizziert werden, die weitgehend zeitgleich in 2001 erstellt wurden. Das Referenzszenario im Bericht der Enquête-Kommission[52] basiert auf den Annahmen des Energiereports III der Prognos AG zu den Wachstumsperspektiven einzelner Branchen bis zum Jahr 2020. Für den Zeitraum 2020 bis 2050 wurden die Entwicklungen in abgeschwächter Form (generelle Wachstumsverlangsamung) fortgeschrie-

---

[51] Vgl. TÜV Rheinland Sicherheit und Umweltschutz GmbH (TSU), Deutsches Institut für Wirtschaftforschung (DIW) , Wuppertal Institut (WI) und Forschungsstelle für Europäisches Umweltrecht an der Universität Bremen (2001), a.a.O. In diesem Zusammenhang sei aber darauf hingewiesen, dass die durch den internationalen Luftverkehr bewirkten CO2-Emissionen bei den nationalen Inventaren ebenso wenig dem jeweiligen Land zugerechnet werden wie diejenigen, die in Verbindung mit den Hochseebunkern entstehen.

[52] Vgl. Deutscher Bundestag, 14. Wahlperiode: Bericht der Enquête-Kommission "Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung" eingesetzt durch Beschluss des Deutschen Bundestages v. 17.2. 2000 - Drucksache 14/2687, Berlin 2002.

ben (vgl. Tabelle 3.5-1 und Tabelle 3.5-2). Langfristig wird mit einem starken Rückgang der Bevölkerung bei guter wirtschaftlicher Entwicklung gerechnet Die Bevölkerung Deutschlands wird von heute rund 82 Mio. auf 68 Mio. Menschen im Jahr 2050 sinken. Im gleichen Zeitraum wird sich das reale Bruttoinlandsprodukt (BIP) etwa verdoppeln. Das bedeutet, dass sich das Bruttoinlandsprodukt pro Kopf auf etwa das 2,4fache steigern wird.

Die Personenkilometer (Pkm) steigen bis 2030 zunächst auf etwa 1 140 Mrd. Pkm pro Jahr und fallen danach, bedingt durch den Bevölkerungsrückgang, wieder leicht, die Kilometer pro Person und Jahr nehmen weiter zu. Der sich stark verändernde Altersaufbau der Bevölkerung schlägt sich in einem weiter zunehmenden Freizeitverkehr nieder. Daraus folgt vor allem ein Wachstum beim Schienenverkehr und beim Luftverkehr.

Tabelle 3.5-1 Sozioökonomische Rahmendaten und wichtige Eckgrößen für den Verkehr

	2000	2005	2010	2020	2030	2050
Einwohner in Mio.	82,2	82,2	82,1	80,8	77,9	67,8
BIP (Mrd. 95er-Euro)	2023	2221	2438	2882	3286	3989
Veränderung p.a.	**2005/2000**	**2010/2005**	**2020/2010**	**2030/2020**	**2050/2030**	**2050/2000**
BIP	1,9%	1,9%	1,7%	1,3%	1,0%	1,4%
Erwerbstätige Mio.	37,5	k.A.	37,6	37,2	34,9	32,2
Verkehrsleistung						
Personenverkehr, Mrd. Pkm	968,1	1034	1090,7	1138,2	1139,1	1026,9
Güterverkehr, Mrd. tkm	483,1	544,3	607,4	732,4	839,2	964.4

Quelle: Enquête-Kommission des Deutschen Bundestages 2002.

Die Intensität der Arbeitsteilung nimmt national wie international weiter zu. Mitte des Jahrhunderts wird die Güterverkehrsleistung fast doppelt so hoch sein wie 2000. Bahn und Schiff weisen absolut gesehen starke Zuwächse auf. Während die Bahn nach 2030 auch anteilig gewinnt, geht der Anteil der Schifffahrt im selben Ausmaß zurück. Der Straßengüterfernverkehr wächst entsprechend der gesamten Güterverkehrsleistung; im Jahr 2050 wird sein Anteil fast 60 % betragen (2000: rd. 55 %).

Tabelle 3.5-2 Annahmen zur Entwicklung der Verkehrsnachfrage im Referenzszenario der Enquête-Kommission

	1995	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Personenverkehr							
Insgesamt Mrd. Pkm	927,4	968,1	1090,9	1138,2	1139,1	1099,8	1026,9
In %							
MIV	80,1	80,0	80,8	80,5	80,2	79,3	77,7
ÖSPV	8,3	7,9	7,4	7,2	7,2	7,5	8,0
Bahnen	8,1	7,7	7,0	7,0	7,2	7,6	8,1
Luftverkehr	3,5	4,4	4,8	5,3	5,4	5,7	6,2
Summe	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Güterverkehr							
Insgesamt Mrd. Tkm	413,0	483,1	607,4	732,4	839,3	919,9	964,3
In %							
Straße nah	17,4	14,8	13,7	13,9	13,9	13,9	14,0
Straße fern	50,4	55,1	57,5	58,9	59,4	59,2	58,9
Bahn	16,7	16,3	15,4	14,5	14,2	14,5	14,8
Schiff	15,5	13,9	13,4	12,7	12,5	12,3	12,3

Quelle: Enquête-Kommission des Deutschen Bundestages 2002

Vor dem Hintergrund dieser Entwicklungen werden, bezogen auf das Referenzjahr 1998, die CO_2-Emissionen bis 2010 im Verkehrsbereich noch um 7 % zunehmen; bis 2030 werden sie dann mit 170 Mio. t bereits um 4 % unter dem Niveau von 1998 liegen um dann bis 2050 auf 133 Mio. t zu sinken; gegenüber 1998 bedeutet dies eine Reduktion von 25 %.

Als Teil einer Monitoring–Studie zum Thema „Nachhaltige Energieversorgung“ des Büros für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) hat das DIW im Jahr 2001 eine Untersuchung abgeschlossen, in der Instrumente und Maßnahmen für den Bereich Mobilität im Hinblick auf die Erreichbarkeit des Zieles einer mittel- und langfristigen nachhaltigen Energieversorgung bewertet wurden.[53] Dazu sind ein Trendszenario und ein Nachhaltigkeitsszenario bis 2020 definiert worden. Für den Zeitraum 2020 bis 2050 wurden allerdings lediglich qualitative Überlegungen angestellt. Basisjahr der Untersuchung war in Anlehnung an die BVWP-Prognosen das Jahr 1997.

[53] Vgl. Hopf, R. und Voigt, U., a.a.O.

Tabelle 3.5-3 Entwicklung der CO_2- und Treibhausgasemissionen im Referenzszenario in Deutschland bis 2050

	1990	1998	2010	2020	2030	2050
	Energiebedingte CO_2-Emissionen in Mio. t					
Energiegewinnung, -umwandlung	440,5	367,5	337,6	355,9	367,4	339,3
Industrie	169,7	118,4	112,7	107,8	101,4	88,4
Haushalte, GHD	218,7	198,6	186,0	184,9	176,8	139,8
Verkehr	**158,0**	**176,7**	**188,3**	**181,0**	**170,3**	**133,4**
Summe	986,8	861,1	824,6	829,6	815,9	700,8
Verkehr 1990 = 100	**100,0**	**111,8**	**119,2**	**114,6**	**107,8**	**84,4**
	Energiebedingte Treibhausgasemissionen in Mio. t CO_2-Äquivalente					
Energiegewinnung, -umwandlung	477,8	395,7	360,7	375,1	378,1	348,3
Industrie	171,8	119,9	113,9	109,0	102,7	89,6
Haushalte, GHD	223,4	201,3	188,1	187,0	178,8	141,4
Verkehr	**162,5**	**182,8**	**192,6**	**184,9**	**173,9**	**136,2**
Summe	1035,6	899,6	855,3	856,0	833,5	715,5
Verkehr 1990 = 100	**100,0**	**112,5**	**118,5**	**113,8**	**107,0**	**83,8**

Anmerkung: Angaben für 1990 bis 2000 nicht temperaturbereinigt; Angaben ab 2010 temperaturbereinigt. Die Modelldaten für die Jahre 2010 bis 2050 sind daher nur eingeschränkt mit den historischen Daten vergleichbar.

Quelle: Enquete-Kommission "Nachhaltige Energieversorgung ..."

Im Trendszenario wurde die Verkehrsentwicklung, abhängig von den sozio-ökonomischen und demografischen Leitdaten, unter der Annahme prognostiziert, dass die heutige Verkehrspolitik auf allen beteiligten Ebenen im Wesentlichen beibehalten wird. Es ist weitgehend an das im Rahmen der BVWP-Prognosen erarbeitete "Trendszenario" angelehnt[54] und vom Anspruch her vergleichbar mit dem oben skizzierten Referenzszenario der Enquête-Kommission. Im Nachhaltigkeitsszenario wurden die Möglichkeiten ausgelotet, durch ein geeignetes Spektrum von Maßnahmen bzw. Maßnahmenbündeln - bei konstant gehaltenen sozio-demographischen und sozio-ökonomischen Rahmendaten - die im Referenzfall ermittelten CO_2-Emissionen zu verringern. Für den Luftverkehr wurden eigene Überlegungen angestellt.

Die Trendprognose der Verkehrsleistungen baut bis zum Jahr 2015 auf dem Trendszenario zur Bundesverkehrswegeplanung (BVWP) auf.[55] Zur Fortschreibung der Verkehrsnachfrage

[54] Vgl. BVU, ifo, ITP und Planco (2001): Verkehrsprognose 2015 für die Bundesverkehrswegeplanung - Schlussbericht. Gutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (FE-Nr.96.578/1999). München/Freiburg/Essen.

[55] Vgl. BVU, ifo, ITP, PLANCO (2001), S. 11 ff.

bis zum Jahre 2020 ist die Vorausschätzung des ifo-Instituts und des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBR) verwendet worden).

Tabelle 3.5-4 Demografische und ökonomische Leitdaten

Variablen	Einheit	1997	2015	2020
Einwohner	1000	82053	83487	83195
Haushalte	1000	37457	39745	39685
Erwerbstätige	1000	33962	34473	34715
Bruttoinlandsprodukt zu Preisen von 1991	Mrd. DM	3101	4539	4938
Quellen: ifo/BBR, Prognos und Statistisches Bundesamt, Berechnungen des DIW Berlin.				

Für den preispolitischen Rahmen, die Konfiguration und den Ausbauzustand der Verkehrsnetze sowie die Qualität des Verkehrsangebots gelten im Trendszenario grundsätzlich die entsprechenden Annahmen der BVWP-Prognosen 2015[56]. Sie werden bis zum Jahre 2020 unter „Status quo“-Bedingungen fortgeschrieben.

Die gesamten Personenverkehrsleistungen nehmen hiernach von 1997 bis 2020 von 997 Mrd. Pkm auf 1 272 Mrd. Pkm (Enquête-K. 2020: 1 138 Mrd. Pkm) zu. Dies bedeutet eine Steigerung um 28 %. Die bei weitem größte Steigerung hat unter den Verkehrsarten der Luftverkehr aufzuweisen, dessen Leistungen auf mehr als das Zweieinhalbfache zunehmen (Enquête-K. 2020/2000: 40 %). Unter den bodengebundenen Verkehrsarten hat der motorisierte Individualverkehr mit 28 % (Enquête-K. 2020/2000: 18 %) die größte Zunahme aufzuweisen. Für die Eisenbahn wird ein Wachstum der Verkehrsleistung von 22 % (Enquête-K. 2020/2000: 7 %) erwartet. Für den Öffentlichen Straßenpersonenverkehr wird eine leichte Abnahme (-7 %) vorausgeschätzt (Enquête-K. 2020/2000: 7 %).

Für den Güterverkehr ergab sich eine Steigerung des Verkehrsaufkommens im Straßengüterfernverkehr um fast zwei Drittel und eine Leistungssteigerung um 93 % (Enquête-K. 2020/2000: 62 %) sowie eine zwar deutlich niedrigere aber immer noch beachtliche Steigerung von 50 % bei den Verkehrsleistungen der Binnenschifffahrt (Enquête-K. 2020/2000:

[56] Vgl. BVU, ifo, ITP, PLANCO (2001), S. 30ff.

39 %) und eine Zunahme der Leistungen bei der Bahn von 30 % (Enquête-K. 2020/2000: 35 %).

Tabelle 3.5-5 Verkehrsleistungen im Personenverkehr von 1997 bis 2020 im Trendszenario

Mrd. Pkm	1997	2020	Veränderungsraten in %	
			ges. Zeitraum	durchschn. jährl.
MIV	750	957	27,7	1,1
Eisenbahn	74	90	22,0	0,9
ÖSPV	83	77	-6,8	-0,3
Luftverkehr (Standortprinzip)	119	385	223,9	5,2
Nicht motorisierter Verkehr	54	52	-3,9	-0,2
Verkehr insgesamt[2]	997	1 272	27,6	1,1

Quellen: BVU, ifo, ITP, Planco, Prognos; Berechnungen des DIW Berlin.

Tabelle 3.5-6 Entwicklung des Güterverkehrs nach Verkehrsträgern von 1997 bis 2020 im Trendszenario

Mrd. tkm	1997	2020	Veränderungsraten in %	
			ges. Zeitraum	durchschn. jährl.
Eisenbahn	73	95	30,1	1,2
dar. Kombinierter Verkehr	15	31	108,4	3,2
Straßengüterfernverkehr	236	454	92,7	2,9
Binnenschifffahrt	62	93	49,1	1,8
Fernverkehr insgesamt	371	642	73,1	2,4
Straßengüternahverkehr	67	85	28,4	1,1

Quellen: BVU, ifo, ITP, Planco, Prognos; Berechnungen des DIW Berlin.

Die CO_2-Emissionen steigen gegenüber 1997 um 13 % an (Enquête-K. 2020/2000: 2,4 %). Der Anstieg ist zum größten Teil auf den Güterverkehr und hier wiederum auf den Straßengüterverkehr sowie zu einem weiteren ebenfalls beträchtlichen Teil auf den Luftverkehr zurückzuführen, während der Anstieg bei der Schiene gering ist und bei der Binnenschifffahrt nicht ins Gewicht fällt. Hier ist zu beachten, dass für den Luftverkehr die gesamten CO_2-Emissionen ausgewiesen werden und nicht nur - wie bei der Nationalen Berichterstattung üblich – nur die dem Luftverkehr über dem Inland zuzurechnenden Emissionen.

Tabelle 3.5-7 CO_2-Emissionen 1997 und 2020 im Trendszenario

1000 t CO_2	1997	2020 Trend
Güterverkehr	*66.900*	*95.800*
Straße	58.000	78.900
Schiene	2.930	2.980
Wasser	2.230	3.310
Luft	3.820	10.600
Personenverkehr	*160.000*	*161.000*
Straße	136.000	114.000
Schiene	7.160	7.490
Luft	17.100	39.200
Gesamtverkehr	*227.000*	*257.000*
Straße	194.000	193.000
Schiene	10.100	10.500
Wasser	2.230	3.310
Luft	20.900	49.800
Quelle: Berechnungen des ifeu.		

Die gelegentlich auf der politischen Ebene formulierten Klimaziele einer Reduktion um 50 % bis 2020 und 80 % bis 2050 lassen sich in beiden skizzierten Szenarien nicht erreichen. Vor dem Hintergrund der gegenwärtigen Verkehrspolitiken sind derartige Zielerreichungsgrade offensichtlich unrealistisch. Selbst wenn man dem Verkehrsbereich wegen seiner wirtschaftlichen Bedeutung eine Sonderstellung im Rahmen sektorspezifischer Reduktionsraten einräumt, ist offenkundig, dass es noch erheblicher zusätzlicher Anstrengungen bedarf, um auch im Verkehrsbereich eine annähernd nachhaltige Entwicklung zu realisieren.

Das Enquête-Szenario hat den Vorteil, dass die Projektionszieljahre (teilweise 2005, 2010, 2020, 2030, 2050) weitgehend deckungsgleich mit denen in Politikszenarien III sind. Im Referenzszenario der TAB-Studie werden nur Werte für 2015 und 2020 ausgewiesen. Schätzungen für 2005, 2010 und 2030 müssten auf dem Wege der Intra- bzw. Extrapolation gewonnen werden. Die bereits beschlossenen und umgesetzten Maßnahmen aus dem 3. Nationalbericht ebenso wie die im Projektionszeitraum konkret noch von der nationalen oder politischen Ebene zu erwartenden Maßnahmen sind in beiden Szenarien offensichtlich im wesentlichen berücksichtigt, so dass ein „Ohne-Maßnahmen-Szenario“ bei beiden Alternativen zu jeweils höheren Emissionen führen würde

3.5.4 Bereits ergriffene und geplante Maßnahmen

3.5.4.1 Allgemeine Vorbemerkungen

Bei den Instrumenten, die der Bundesregierung zur Gestaltung der Verkehrsabläufe zur Verfügung stehen, hat der Bundesverkehrswegeplan (BVWP) eine zentrale Bedeutung. Der in den wichtigsten Eckdaten völlig überholte BVWP '92 ist bisher noch nicht durch einen aktuellen Investitionsplan ersetz, der mit der Finanzplanung besser koordiniert ist [57] und der auch umweltpolitisch klare Prioritäten setzt. Wichtig wäre, dass er möglichst schnell auf den Weg gebracht wird und dass der ursprüngliche und eigentliche Grundsatz der integrierten Verkehrswegeplanung, die Netze des Straßenverkehrs, der Bahn und der Binnenschifffahrt unter Berücksichtigung der jeweiligen spezifischen Leistungsfähigkeit aufeinander abgestimmt zu entwickeln, in der Praxis stärker als bisher berücksichtigt wird. Dadurch könnte auf ökologisch problematische Vorhaben zugunsten von Lückenschließungen, des Ausbaus von Knoten und Schnittstellen, der Telematik, der Fernverkehrslogistik sowie integrierter Transportketten verzichtet werden.

Das Verkehrsmengengerüst der Verkehrsprognose für den neu aufzulegenden Bundesverkehrswegeplan (BVWP) das den Zeitraum vom Basisjahr 1997 bis zum Jahr 2015 abdeckt, liegt vor.[58] Es wurden vier Szenarien definiert, die sich durch unterschiedliche Prämissen bei den Verkehrsmittelnutzerkosten unterscheiden. Die Maßnahmen des „Integrationsszenarios“, das nach Meinung des BMVBW und der Gutachter in der Mitte der denkbaren Entwicklungen angesiedelt ist, und das vom BMVBW auch als Referenzentwicklung angesehen wird, führen 2015 gegenüber 1997 zu einem leichten Rückgang der CO_2-Emissionen. Es ist nicht sicher, ob alle im „Integrationsszenario“ genannten Prämissen und Annahmen Eingang in den Bundesverkehrswegeplan finden werden.

Die Inhalte der Koalitionsvereinbarung der Partner der neuen Bundesregierung sind hinsichtlich einer nachhaltigen Mobilität in der Zukunft sehr ehrgeizig[59]. Dies gilt vor allem für die Aussage, die EU in ihrer Absicht zu unterstützen, bei den Preisen der Mobilität auch externe

---

[57] Für die Realisierung des BVWP '92 bestand bis 2010/2012 eine Finanzierungslücke von etwa 40 bis 45 Mrd. Euro. Vgl.: BMVBW: Investitionsprogramm der Bundesschienenwege, Bundesfernstraßen und Bundeswasserstraßen 1999 bis 2002. Berlin, 1999.

[58] BVU, ifo, ITP und Planco, a.a.O.

[59] Koalitionsvereinbarung zwischen der Sozialdemokratischen Partei Deutschlands und Bündnis90/Die Grünen: Erneuerung – Gerechtigkeit – Nachhaltigkeit, Berlin Oktober 2002, S.41ff.

Effekte einzubeziehen. Auch andere Ziele wie die insgesamt umweltfreundlichere Gestaltung des Verkehrssystems, die stärkere Förderung des Eisenbahnverkehrs (Kombinierter Verkehr), der Abbau von Hemmnissen im grenzüberschreitenden Verkehr), der diskriminierungsfreie Zugang zur Eisenbahninfrastruktur, der Abbau von Belastungen durch Verkehrslärm, die generelle europaweite Harmonisierung der Sozialvorschriften vor allem im Straßengüterverkehr, Sicherheitsstandards und Umweltvorschriften auf der Grundlage der in Deutschland erreichten hohen Standards sowie die Einführung von flugstreckenbezogenen Emissionsabgaben sind im Hinblich auf mehr Nachhaltigkeit im Verkehr grundsätzlich positiv zu beurteilen. Allerdings handelt es sich bei den meisten Zielen um Absichtserklärungen. Eine konkrete Unterfütterung durch ein schlüssiges preis-, investitions- und ordnungspolitisches Gesamtkonzept steht noch aus. Viele der genannten Maßnahmenbereiche werden später bei der Analyse der „weiteren“ Maßnahmen konkretisiert und in CO_2-Reduktionspotenziale umgesetzt

Bei den im folgenden betrachteten „ergriffenen“ Maßnahmen werden die Annahmen und Prämissen des „Integrationsszenarios“ und der Koalitionsvereinbarung nur insoweit berücksichtigt, als sie bereits umgesetzt und im 3. Nationalbericht der Bundesregierung explizit aufgeführt sind.

3.5.4.2 Analyse der Maßnahmen

Im Dritten Nationalbericht der Bundesregierung werden drei Querschnittsmaßnahmen und 16 verkehrsspezifische Maßnahmen und Politiken auf Bundesebene benannt, mit denen eine umweltverträgliche und ressourcenschonende Umgestaltung des Verkehrs erreicht werden soll. Diese 19 Maßnahmen werden im folgenden ersten Arbeitsschritt kurz skizziert und hinsichtlich ihres jeweiligen CO_2-Reduktionsbeitrages analysiert. Die angegebenen Reduktionspotenziale basieren auf eigenen Schätzungen, die von den im 3. Nationalbericht genannten Minderungspotentialen z.T. abweichen.

3.5.4.2.1 Querschnittsmaßnahmen

Ökosteuer

Die Ökosteuer gehört zu den preispolitischen Instrumenten, die vom Anspruch her in mehrfacher Hinsicht auf das Niveau und die Zusammensetzung der Verkehrsnachfrage wirken:

- Sie induzieren Erhöhungen der Effizienz des Straßenverkehrs, z.B. durch eine verbesserte Organisation von Fahrtenketten sowie eine stärkere Auslastung der Fahrzeuge und wirken damit dämpfend auf die Fahrleistungen. Erhöhungen des Kraftstoffpreises bewirken zudem verstärkte Anreize, energiesparsame Fahrzeuge einzusetzen.
- Bei einer Erhöhung der Fahrt- und Betriebskosten im motorisierten Straßenverkehr relativ zu den Kosten der anderen Verkehrsarten sind bestimmte Verlagerungen zu den anderen Verkehrsarten zu erwarten.
- In einem gewissen Umfang dürften sich auch Verkehrsvermeidungseffekte ergeben. Diese können z.B. darin bestehen, dass durch eine Erhöhung der Fahrzeugauslastung (im Individualverkehr durch Mitfahrten bei anderen Verkehrsteilnehmern und im Straßengüterverkehr durch einen höheren Auslastungsgrad oder einen Wegfall von Leerfahrten) sowie eine Veränderung bei der Wahl von Fahrtzielen zu Gunsten kürzerer Entfernungen (Individualverkehr) bzw. anderer Bezugs- und Absatzquellen (Straßengüterverkehr) Veränderungen bei der Wahl von Fahrtzielen zu Gunsten kürzerer Entfernungen. generell weniger Fahrten unternommen werden.
- Langfristig sind in einem gewissen Ausmaß durch Änderungen der Siedlungsstruktur ebenfalls verkehrssparende Effekte zu erwarten.

Mit dem "Gesetz zum Einstieg in die ökologische Steuerreform"[60] wurde zum 1.4.1999 eine Stromsteuer von 2 Pfennig je Kilowattstunde eingeführt und die Mineralölsteuer erhöht (Benzin und Diesel um 6 Pfennig je Liter, Heizöl um 4 Pfennig je Liter sowie Gas um 0,32 Pfennig je Kilowattstunde). In den Jahren 2000 bis 2003 wurde die Mineralölsteuer auf Kraftstoffe in vier weiteren Stufen um jeweils 6 Pfennig je Liter und die Stromsteuer um 0,5 Pfennig je Kilowattstunde angehoben.[61]. Die gesamte Mehrbelastung der Kraftstoffe aus der Ökosteuer beläuft sich derzeit auf 35 Pfennig (einschließlich Mehrwertsteuer) bzw. 0,18 Euro gegenüber dem Stand vor Einführung.

Die Auswirkungen einer Erhöhung des Kraftstoffpreises auf die Verkehrs- bzw. Kraftstoffnachfrage sind bereits in zahlreichen Studien mit Hilfe von Elastizitätsschätzungen untersucht

---

[60] Gesetz zum Einstieg in die ökologische Steuerreform, Bundesgesetzblatt I, S. 378, 1999; vgl. auch Stefan Bach und Michael Kohlhaas: Nur zaghafter Einstieg in die ökologische Steuerreform. In: Wochenbericht des DIW Berlin, H. 36/1999.

[61] Zusätzlich war vom 1.11.2001 an eine steuerliche Förderung schwefelarmer bzw. -freier Kraftstoffe durch eine Differenzierung der Steuersätze vorgesehen, die inzwischen auch in Kraft getreten ist.

worden.[62] Allerdings ist es im konkreten Fall sehr problematisch, eine derartige Rechnung durchzuführen, da im Zeitraum der Implementierung der Ökosteuer die Rohölpreise stark anzogen, der Euro bzw. die DM gegenüber dem US $ erheblich an Wert verlor und zugleich die Einkommensentwicklung sehr verhalten war. So sind die Kraftstoffpreise stärker gestiegen, als es aufgrund der Einführung der Ökosteuer zu erwarten gewesen wäre. Von 1988 bis 1998 wurde die Mineralölsteuer um 50 Pfennig/l bleifreien Ottokraftstoff auf 98 Pfennig angehoben und damit in etwa verdoppelt. Im gleichen Zeitraum stiegen die Fahrleistungen, der Kraftstoffverbrauch und die CO_2-Emissionen erheblich. Noch stärker stiegen die entsprechenden Kennzahlen des Straßengüterverkehrs.

Neben dem Kraftstoffpreis wirken offensichtlich eine Vielzahl von anderen Faktoren wie die konjunkturelle Entwicklung und das Einkommen auf das Verkehrsgeschehen sein. Die in der unmittelbaren Vergangenheit rückläufige Fahrleistungs-, Kraftstoffverbrauchs- und CO_2-Emissionsentwicklung im Personen- und Güterverkehr ist daher nur z.T. auf die durch die Ökosteuer induzierte Kraftstoffpreissteigerung zurückzuführen.

Die Bundesregierung schätzt den CO_2-Minderungseffekt der Ökosteuer in 2005 auf 10 Mio. t und für 2010 auf ungefähr 20 Mio. t. Gemessen an den CO_2-Emissionen des gesamten Verkehrssektors 1998 (186 Mio. t) wären das etwa 5 % bzw. 10 %. Diese Werte sind sehr optimistisch. Da momentan keine weitere Erhöhung der Mineralölsteuer geplant ist, kann erwartet werden, dass die CO_2-Minderungswirkungen der von 1999 bis 2003 implementierten Ökosteuer im weiteren Zeitverlauf geringer werden, und zwar um so mehr, als die allgemeine Konjunktur- und Einkommensentwicklung wieder positiver verlaufen und der Weltmarktpreis für Rohöl, der derzeit sehr hoch ist, wieder sinkt.

Bei den Wirkungsschätzungen für 2010 wird angenommen, dass der Rohölpreis wieder sinkt und sich BIP und Einkommen auf einem normalen Wachstumspfad bewegen. Der Ökosteuereffekt wird auf 5 Mio. t geschätzt. Bis 2020 dürften die Wirkungen ceteris paribus geringer werden. Der größte Teil des Minderungspotentials (90 % bis 95 %) dürfte im Personenver-

[62] Oum, T. Waters, W. und Young, J. (1992): Concepts of price elasticities of transport demand and recent empirical estimates. In: Journal of Transport Economics and Policy, 26. Jg. Heft 2, S.139 ff. sowie IWW (2001): Anforderungen an eine umweltorientierte Schwerverkehrsabgabe. Forschungs- und Entwicklungsvorhaben 200 96 130 des Umweltbundesamtes. Karlsruhe.

kehr realisiert werden. Im Güterverkehr bedürfte es – infolge sehr viel geringerer Preis-/Nachfrageelastizitäten – weitaus kräftigerer Mineralölsteueranhebungen.[63]

Förderung Contracting

Hierbei geht es um die Unterstützung der Entwicklung von Finanzierungs- und Betreiberkonzepten, die darauf abzielen, energiewandelnde Anlagen aus den Unternehmen auszulagern (Outsourcing der Energiebereitstellung). Die Planung, Baubetreuung, Finanzierung, Inbetriebnahme, der Betrieb und die Wartung der betriebseigenen Energiedienstleistungsanlagen werden ersetzt durch die Energiedienstleistung von Dritten (Betreiber). Die Erwartung dabei ist, die allgemeine Energieeffizienz zu steigern, um das energietechnische „know how" von Spezialisten zu nutzen. Für den Verkehrsbereich sind Elemente des Contractings durchaus vorstellbar. Die Wirkungen dürften allerdings marginal sein.

Angaben zu potentiellen CO_2-Minderungen im Verkehrsbereich sind nicht möglich.

Selbstverpflichtung der Bundesregierung

Die Bundesregierung hat sich verpflichtet, den Ausstoß der CO_2-Emissionen in ihrem Geschäftsbereich um 25 % bis 2005 und um 30 % bis 2010 gegenüber 1990 zu senken. Damit soll ein deutliches Signal für alle anderen Akteure gesetzt werden, ebenfalls die in ihrem Bereich möglichen Klimaschutzbeiträge zu erschließen. Für den Verkehrsbereich sind keine spezifischen quantitativen Ziele genannt worden, gleichwohl erhofft sich die Bundesregierung durch die bisher von ihr ergriffenen (wie Ökosteuer, Ausdehnung der Entfernungspauschale, freiwillige Selbstverpflichtung der Automobilindustrie) und künftig geplanten Maßnahmen (wie Lkw-Maut, emissionsabhängigen Landegebühren) eine spürbare Senkung der CO_2-Emissionen auch für diesen Sektor.

Fast alle Maßnahmen sind positiv zu beurteilen. In ihrer kumulierten Wirkungsintensität reichen sie jedoch bei weitem nicht aus, nennenswerte Minderungen zu erreichen. Die auch künftig zu erwartenden Verkehrszuwächse konterkarieren alle Einsparbemühungen. Verschiedene Verkehrs- und Emissionsprognosen, die in der unmittelbaren Vergangenheit auf Basis der bereits ergriffenen und im Prognosezeitraum zu erwartenden Maßnahmen vorgelegt

[63] Zu den Wirkungsschätzungen vgl. DIW (Projektleitung), ifeu, IVU, HACON sowie Hopf, R. und Voigt, U., a.a.O

wurden, belegen diese Aussage eindeutig. Übereinstimmend werden in allen Projektionen der Luftverkehr und der Güterverkehr als die Bereiche genannt, die bezüglich des Minderungszieles der Bundesregierung als besonders problematisch anzusehen sind.

- Im Referenzszenario der Enquête-Kommission[64] steigen die CO_2-Emissionen des Verkehrssektors bezogen auf 1990 wie folgt:
  1998: 11,8 %; 2010: 19,2 %; 2020: 14,6 %; 2030: 7,8 % und 2050: -15,6 %.

- Im Rahmen der Prognosen für den noch zu erstellenden Bundesverkehrswegeplan sind, bezogen auf das Basisjahr 1997, vier Szenarien bis zum Jahr 2015 erstellt worden.[65] Die Szenarien spiegeln unterschiedliche verkehrspolitische Prioritätensetzungen wider und unterscheiden sich vor allem durch jeweils unterschiedlich hohe Nutzerkosten für die Benutzung der Verkehrsmittel. Die Bundesregierung will das „Integrationsszenario“ der Konzeption des neuen Bundesverkehrswegeplans zu Grunde legen. Im sogenannten "Integrationsszenario" wurde eine Straßenbenutzungsgebühr (Lkw > 12 t, BAB) von 40 Pf/Fzkm angenommen. Darüber hinaus wurde eine grundlegende Kurskorrektur der bisherigen Verkehrspolitik unterstellt, was dazu führt, dass die Verkehrsentwicklung eher dem verkehrspolitischen Zielkatalog der derzeitigen Bundesregierung entspricht. Abgesehen von der Straßenbenutzungsgebühr werden allerdings keine Aussagen darüber macht, wie ein solches Szenario Wirklichkeit werden kann. Das gilt insbesondere auch für die Förderung nachhaltiger Raum- und Siedlungsstrukturen. Selbst wenn alle Annahmen des Integrationsszenarios – wie 40 Pf (gut 20 cent) Straßenbenutzungsgebühr für Lkw > 12 t auf BAB – umgesetzt würden, liegen die CO_2-Emissionen des Verkehrssektors immer noch auf dem Niveau von 1997.

- Als Teil einer Monitoring–Studie zum Thema „Nachhaltige Energieversorgung“ des Büros für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) hat das DIW im Jahr 2001 eine eigene Untersuchung abgeschlossen, in der Instrumente und Maßnahmen für den Bereich Mobilität im Hinblick auf die Erreichbarkeit des Zieles einer mittel- und langfristigen nachhaltigen Energieversorgung bewertet wurden.[66] Dazu sind ein Trendszenario und ein Nachhaltigkeitsszenario bis 2020 definiert worden. Basisjahr der Untersuchung war in Anlehnung an die BVWP-Prognosen das Jahr 1997. Unter den Voraussetzungen des Trendszenarios steigen die CO_2-Emissionen gegenüber 1997 um 13 %, selbst wenn bis 2020 alle nach dem heutigen Erkenntnisstand möglichen technischen Verbesserungen an den Fahrzeugen realisiert sind.

---

[64] Vgl. Deutscher Bundestag: Endbericht der Enquête –Kommission..., a.a.O.
[65] Vgl. BVU, ifo, ITP und Planco (2001), a.a.O.
[66] Vgl. Hopf, R. und Voigt, U., a.a.O.

3.5.4.2.2 Maßnahmen im Verkehrsbereich

Förderung des Einsatzes von schwefelfreiem Kraftstoff

Seit dem 1. November 2001 wird die vorzeitige Einführung des von der EU-Kraftstoffrichtlinie für 2005 verlangten Schwefelgrenzwertes von 50 mg/kg („schwefelarm“) steuerlich gefördert. Dies geschieht durch eine vom Schwefelgehalt abhängige Spreizung des Mineralölsteuersatzes für Benzin und Diesel. Wenn diese Kraftstoffe einen Schwefel-Gehalt über 50 mg/kg haben, werden sie um 1,53 Cent je Liter höher besteuert, wodurch die schwefelarmen Kraftstoffe begünstigt werden. Ab dem 1. Januar 2003 gilt diese steuerliche Begünstigung nur noch für Kraftstoffe mit einem Schwefelgehalt von bis zu 10 mg/kg („schwefelfrei“). In der EU werden schwefelfreie Kraftstoffe flächendeckend erst 2005 eingeführt.

Mit schwefelfreien Kraftstoffen sind Motortechnologien möglich, die Kraftstoffeinsparungen bis zu 15 %[67] gegenüber herkömmlichen Motorentechniken ermöglichen. Ein zusätzlicher Vorteil ist, dass schwefelfreie Kraftstoffe auch bei älteren Motoren zu einer Verminderung der Schadstoffemissionen (Stickoxide, Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffe) und der Rußbildung beitragen.

Die Bundesregierung erwartet aus der Einführung schwefelfreien Kraftstoffs für das Jahr 2005 eine Minderung der CO_2-Emissionen von 2 bis 5 Mio. t Diese Marge scheint sehr optimistisch. Es wird hier deshalb für das Jahr 2010 ein Minderungspotential von 2 Mio. t angenommen. Die Einführung schwefelarmer bzw. –freier Kraftstoffe ist Bestandteil der freiwilligen Selbstverpflichtung der Automobilindustrie, bis 2008/2009 die CO_2-Emissionen von Neufahrzeugen auf 140g/km zu senken. Ohne diese Zielerreichung lässt sich auch das CO_2-Minderungspotenzial nicht erschließen.

Bahnstrukturreform

Diese Maßnahme zielt in erster Linie auf den Güterverkehr. Die Bahn sollte mit der Bahnstrukturreform in die Lage versetzt worden, einen höheren Anteil der im europäischen Rahmen zu erwartenden Verkehrszuwächse zu übernehmen. Voraussetzung hierfür ist, dass der

---

[67] www.kfztech.de/kfztechnik/motor/schwefelfrei.htm Bei bestehenden Benzinfahrzeugen haben sich aufgrund der Änderung der chemischen Zusammensetzung des Kraftstoffs geringfügige Verbrauchssenkungen gezeigt (0,5 - 1 %). Diese würden die Mehrkosten kompensieren. Schwefelfreies Benzin ist vor allem aber die Voraussetzung für neue, hocheffiziente Spritsparautos (Direkteinspritzende Magermotore), mit denen Verbrauchssenkungen um bis zu 20 % möglich werden. Die sparsamen Dieselmotoren können mit schwefelfreiem Kraftstoff bei niedrigem Kraftstoffverbrauch auf das Emissionsniveau des Ottomotors gebracht werden. vgl. hierzu www.bmu.de/sachthemen/luft/schwefelfreie_kraftstoffe.php?

Rückgang des Anteils des Schienenverkehrs am gesamten Verkehrsaufkommen zum Stillstand gebracht werden kann und nach dieser Phase im Rahmen einer mittel- bis langfristigen Strategie vergrößert werden kann. Eine wichtige Rolle sollte hierbei die Ausdehnung des kombinierten Ladungsverkehrs spielen. Der Ausbau des Hochgeschwindigkeitsnetzes der Bahn zielt darüber hinaus auch auf eine Entlastung des Kurzstreckenluftverkehrs. Die Bundesregierung betreibt ihre Investitionspolitik im Schienenbereich nicht zuletzt im Hinblick auf derartige Verlagerungseffekte. Zur Finanzierung von Infrastrukturmaßnahmen hat der Bund der Deutschen Bahn AG mit dem Zukunftsinvestitionsprogramm (ZIP) 2001 bis 2003 insgesamt rund 3,1 Mrd. Euro zur Verfügung[68] gestellt.

Der stärkeren Einbindung der Eisenbahn in die nationalen und internationalen Verkehrsabläufe sowie der Integration in europaweite logistische Transportketten stehen derzeit noch eine Vielzahl von Funktionsschwächen entgegen, die zum großen Teil auch im aktuellen Weißbuch der EU-Kommission[69] erwähnt und seit vielen Jahren in beinahe jeder verkehrspolitischen Diskussion über die künftige Verkehrsentwicklung benannt werden:

- Stärkere Entmischung des Personen- und Güterverkehrs (Verkürzung der Traktionszeiten);
- moderne Waggonparks;
- Ausrichtung der Terminals der Bahn an Markt- und Potenzialanalysen (bisher hauptsächlich an vorhandener Infrastruktur);
- Optimierung bei der Zugbildung (automatische Kupplung; „intelligente“ Güterwagen; selbstgesteuerte Transporteinheiten -Cargo Sprinter , Schienen-Lkw; bimodale Systeme - Kombitrailer; dezentrale Behälterumschlagsysteme -Bahnwaggon- und Lkw-basiert);
- Erhöhung der Strecken- und Knotenkapazitäten durch moderne Zugsicherungs- und Betriebsleitsysteme (forcierte Entwicklung des ETCS - European Train Control System);
- kundengerechte Informationssysteme ("Tracking" - automatische Sendungsverfolgung bzw. online Ortung der transportierten Güter im Netz, sowohl national als auch international) zur stärkeren Integration in intermodale Transportketten;
- verbesserte Logistik-Gesamtangebote (door-to-door-Regalservice);
- Herstellung der Interoperabilität bei internationalen Verkehren (international kompatible Zugsicherungs- und Betriebsleitsysteme; Harmonisierung der elektrischen Systeme, der

[68] Mittel aus den Zinsersparnissen, die sich aus der Verwendung der Erlöse aus der Versteigerung der UMTS-Lizenzen ergeben.

[69] Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2001): Weißbuch - Die europäische Verkehrspolitik bis 2010: Weichenstellungen für die Zukunft. Brüssel S. 22 ff. und praktische Beispiele S. 31 f: "Rechnet man sämtliche Stopps ein, beträgt die Durchschnittsgeschwindigkeit im grenzüberschreitenden (Eisenbahn-) Güterverkehr lediglich 18 km/h, die Züge sind damit langsamer als ein Eisbrecher in der Ostsee!"

Lichtraumprofile, der Spurweiten, der Brems- und Sicherungssysteme; Mehrstromlokomotiven etc.);

- Beseitigung der zeitaufwendigen Grenzbehandlung (Herstellung von Bedingungen wie sie für den Lkw selbstverständlich sind);
- Anpassungsinvestitionen in Terminals und Gleisanschlüsse (kein Rückzug, sondern Aufrechterhaltung der Flächenbedienung, "low-budget Feeder-Terminals", stärkere Integration der NE-Bahnen).

Gelingt es mittel- und langfristig nicht, diesen Katalog an Mängeln, Defiziten und Schwachstellen auch nur annähernd zu beseitigen, dann verliert die Bahn weiter an Bedeutung. Die ZIP-Mittel von 3,1 Mrd. Euro sind zusammen mit organisatorischen und angebotspolitischen Maßnahmen gezielt einzusetzen, um die Netze und die Umschlageinrichtungen (Güterverkehrszentren, KV-Terminals) von Bahn und Binnenschifffahrt qualitativ und quantitativ erheblich zu erweitern. Die Engpassbeseitigung im Netz der Eisenbahnen und in den Umschlagzentren für den Kombinierten Verkehr, die erhöhte Durchlassfähigkeit der Strecken und die generelle Verkürzung der Transportzeiten sind notwendige flankierende Maßnahmen, um die rückläufige Entwicklung der Bahnanteile zu stoppen.

Von zentraler und essenzieller Bedeutung für künftig höhere Schienengüterverkehre bleiben daneben die Forderungen nach einem diskriminierungsfreien Zugang zum Netz und einem voll transparenten Trassenpreissystem. Auch hier besteht noch erheblicher Handlungsbedarf.

Es ist bisher nicht einmal in Ansätzen erkennbar, durch welche konkreten Maßnahmen die Bahn künftig höhere Verkehrsanteile realisieren sollte. Eine CO_2 –Reduktion durch eine Verkehrsverlagerung von der „emissionsintensiven“ Straße auf die „emissionsärmere“ Schiene ist durch das ZIP-Programm nicht zu erwarten. Effekte dürften sich erst mittel- und langfristig einstellen, wenn europaweit damit begonnen wird, die derzeitigen oben genannten Schwachstellen zu beseitigen.

Autobahnbenutzungsgebühr für Lastkraftwagen

Diese Maßnahme zielt ausschließlich auf den Güterverkehr. Mit dem Ziel einer gerechten Anlastung der Wegekosten soll in diesem Jahr (2003) die zeitabhängige Lkw-Vignette durch eine streckenabhängige elektronische Gebührenerhebung für schwere Lkw (>12 t zul. Gesamtgewicht) ersetzt werden. Die streckenbezogene Autobahnbenutzungsgebühr für Lkw mit einer emissionsbezogenen Gebührengestaltung (etwa 0,15 Euro je km) soll die Verwirklichung verkehrspolitischer und umweltpolitischer Ziele ermöglichen und einen Anreiz zur Verlage-

rung von Güterverkehr von der Straße auf die Schiene bzw. auf das Wasser geben. Die Bundesregierung erwartet hierdurch eine CO_2-Minderung von 5 Mio. t bis zum Jahr 2005.

Die Beurteilung dieser Gebühr unter CO_2-Minderungsaspekten fällt grundsätzlich positiv aus. Erstens handelt es sich um eine zeitraum- und nicht streckenbezogene Gebühr wie die bisherige Autobahnvignette - ähnlich der Kfz-Steuer -, die - wenn auch im geringen Umfang- Anreize bietet, Verkehre zu verlagern und durch höhere Auslastung und geringeren Leerfahrtenanteil weniger zu fahren.

Die Ausgestaltung der Straßenbenutzungsgebühr weist jedoch auch gravierende Nachteile auf. Sie wird nur für große Lkw und auf dem Bundesautobahn (BAB)-Netz erhoben. Die Erhebung auf dem gesamten Straßennetz könnte demgegenüber verhindern, dass Fahrzeuge auf das nachgeordnete Netz ausweichen, um der Maut zu entgehen. Der Geltungsbereich ab 3,5 t zul. GG könnte sicherstellen, dass nicht auf kleinere Fahrzeuge umgerüstet wird, um der Mautpflicht zu entgehen. Außerdem ist in Rechnung zu stellen, dass die deutschen Lkw-Unternehmen eine Kompensation für die zusätzliche Belastung aus der Maut erwarten, die ihnen prinzipiell auch schon zugestanden wurde. Diese „Ausgleichszahlung“ dürfte in Kombination mit dem auf BAB und große Lkw beschränkten Wirkungsbereich dazu führen, dass nur geringe Effekte hinsichtlich Verkehrsvermeidung, Verkehrsverlagerung und CO_2-Minderung zu erwarten sind.

Außerdem ist diese Gebühr ist ja auch im Kontext mit den anderen beschlossenen und umgesetzten Maßnahmen und Regelungen zu sehen (s.o.). Investitionspolitische Instrumente wären – zusätzlich zusammen mit organisatorischen und angebotspolitischen Maßnahmen gezielt einzusetzen, um die Netze und die Umschlageinrichtungen (Güterverkehrszentren, KV-Terminals) von Bahn und Binnenschifffahrt qualitativ und quantitativ erheblich zu erweitern. Die Engpassbeseitigung im Netz der Eisenbahnen und in den Umschlagzentren für den Kombinierten Verkehr, die erhöhte Durchlassfähigkeit der Strecken und die generelle Verkürzung der Transportzeiten wären darüber hinaus notwendige flankierende Maßnahmen, damit die von den Straßenbenutzungsgebühren induzierten „potenziellen" Verkehrsverlagerungen auch realisiert werden können.

Die Diskussion über die Verwendung der Einnahmen ist ebenfalls noch nicht abgeschlossen. Die angestrebten Wirkungen dürften nämlich auch davon abhängen, in welchem Umfang die Einnahmen in den allgemeinen Haushalt, in den Verkehrshaushalt, also auch für Maßnahmen

im Bereich der anderen Verkehrsträger zur Verfügung stehen, oder zweckgebunden in den Straßenhaushalt fließen.

Angesichts der derzeitigen Diskussion über die Höhe, die Kompensation und auch die Rechtswirksamkeit der Maut ist die von der Bundesregierung für die zweite Jahreshälfte geplante Einführung trotz aller Mängel als ein Einstieg in eine insgesamt umweltfreundlichere Verkehrspolitik anzusehen. Die von der Bundesregierung für 2005 erwarteten CO_2-Minderungen von 5 Mio. t dürften allerdings nicht realisiert werden. Das wären fast 8 % der gesamten Emissionen des Straßengüterverkehrs. Unter Zugrundelegung der in anderen Studien ermittelten Elastizitäten für den Güterverkehr[70] und unter Berücksichtigung Kompensationen für das deutsche Lkw-Gewerbe Für die CO_2-Reduktion im Jahre 2010 allenfalls1 Mio. t betragen. Nach 2010 ist bei unveränderten Mautsätzen mit abnehmenden Wirkungspotenzialen zu rechnen.

Emissionsbezogene Kraftfahrzeugsteuer bei Pkw

Mit der zum 1. Juli 1997 wirksam gewordenen Änderung des Kraftfahrzeugsteuergesetzes soll über eine steuerliche Begünstigung verbrauchs- und emissionsarmer Personenkraftwagen eine Verringerung der vom Autoverkehr ausgehenden Umweltbelastungen erreicht werden. Damit kam ein über Jahre diskutiertes Reformvorhaben zu einem vorläufigen Abschluss; widerstreitende umwelt- und finanzpolitische Interessen führten allerdings zu einem äußerst unübersichtlichen Tarifgefüge. Mit nun deutlich gesteigerten Steuersätzen für Pkw mit höheren Schadstoffemissionen sollte die Erneuerung des Pkw-Bestandes beschleunigt und weitere Anreize zur Nachrüstung von Altfahrzeugen mit Abgasreinigungstechnik gegeben werden.

Von 1997 bis 2001 konnte der Bestand an hochemittierenden Fahrzeugen um zwei Drittel verringert werden. Ein Viertel aller 2001 neu zugelassenen Pkw erfüllte bereits die ab 2005/ 2006 geltende Abgasnorm Euro 4. Ob hierzu allerdings die emissionsbezogene Kfz-Steuer beigetragen hat und ob sie daneben die Markteinführung besonders CO_2-reduzierter Pkw (sogenannter "3-Liter-Autos") gefördert hätte, muss bezweifelt werden.

Erklärtes Ziel der steuerlichen Neuregelung war es, für Autofahrer und Hersteller die Anreize zur Verminderung der Abgasemissionen zu verstärken. Die Kraftfahrzeugsteuer ist ein Be-

[70] vgl. DIW (Projektleitung), ifeu, IVU, HACON sowie Hopf, R. und Voigt, U., a.a.O.

standteil der Fixkosten der Autohaltung. Mit der Anhebung der Sätze für Autos mit veralteter Abgastechnik wurde bei Benzinern die Kfz-Steuer etwa verdoppelt und bei Diesel-Fahrzeugen um gut 40 % erhöht. Für Fahrzeuge mit durchschnittlichem Motorvolumen entsprach dies Steigerungsbeträgen von etwa 340 bzw. 400 DM im Jahr.

Positiv zu beurteilen war die verstärkte Spreizung der Steuersätze nach der lufthygienischen Auswirkung der Fahrzeugabgase, die Altfahrzeuge so belastete, dass sich die Nachrüstung von Abgasreinigungstechnik in vielen Fällen lohnte. Die Reduzierung der Steuersätze für Euro-2-Pkw bewirkte allerdings nur Mitnahmeeffekte, da diese Norm seit Januar 1997 für Neufahrzeuge ohnehin verbindlich vorgeschrieben war. Mit der Bindung an das Motorvolumen implizierte die Neuregelung auch, dass größere Fahrzeuge steuerlich stärker entlastet wurden dass die Steuerbefreiungen durch ihre Verrechnung über die Hubraumsteuer und ihre zeitliche Befristung tendenziell kleinere Fahrzeuge benachteiligte.

Die gewährte Ermäßigung der Steuersätze für Neufahrzeuge war mit 8,10 DM je 100 ccm für Diesel-Fahrzeuge erheblich höher als für Otto-Pkw. Für ein durchschnittliches Diesel-Auto verminderten sich damit die Fixkosten um rund 160 DM. Um im Vergleich der Jahreskosten mit einem Otto-Pkw gleichzuziehen, waren damit etwa 3 500 km weniger Fahrleistung erforderlich als vor der Reform, d.h. der Diesel gewann gegenüber dem Otto-Antrieb an Attraktivität. Da der Diesel-Motor zudem kanzerogene Rußpartikel emittiert, war die Verbesserung der Kostenposition für Diesel-Autos umweltpolitisch bedenklich. Die eigentliche umweltpolitische Zielsetzung war die Reduktion der CO_2-Emissionen, die je Liter Kraftstoff durch den höheren Kohlenstoffanteil bei Diesel um 13,4 % höher ist als bei Benzin. Der Verbrauchsvorteil des Diesels wird somit emissionsseitig weitgehend aufgezehrt.

Als generell unzureichend war der damalige Ansatz zu bewerten, mit dem der Kraftstoffverbrauch in die Steuergestaltung einbezogen wurde. Die Steuerbegünstigungen für das 3- und das 5-Liter-Auto haben wenig Wirkung entfaltet.[71] Auf dem Markt ist derzeit nur ein einzelnes Serien-3-Liter-Auto. Die Modellpalette wurde zwar durch ein schmales Marktsegment sparsamer Kleinwagen ergänzt, erforderlich wären aber Anreize zur kraftstoffsparenden tech-

[71] Die Ausführungen zur emissionsbezogenen Kraftfahrzeugsteuer orientieren sich weitgehend an Kunert, U: Kfz-Steuerreform: Nur geringe Umweltentlastung zu erwarten. In: Wochenbericht des DIW Berlin, Nr. 35/97, S. 625 ff.

nischen Auslegung aller neuen Pkw, z.B. eine progressive Besteuerung der Verbrauchswerte nach der CO_2-Emissionen, ähnlich dem dänischen Vorbild.[72]

Die Wirkungen der aktuell geltenden Regelungen hinsichtlich möglicher CO_2-Minderungen sind vernachlässigbar gering. Das im 3. Nationalbericht geschätzte CO_2-Minderungspotenzial von 1 Mio. t dürfte eine absolute Obergrenze darstellen.

Senkung des durchschnittlichen Kraftstoffverbrauchs neuer Pkw

Hier handelt es sich um die Selbstverpflichtung des Verbandes der Deutschen Automobilindustrie (VDA), den durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch der ab 2005 in den Verkehr kommenden Personenkraftwagen deutscher Hersteller im Durchschnitt um 25 % gegenüber 1990 zu senken. Die Bundesregierung erwartet, dass die deutsche Automobilindustrie ihre Selbstverpflichtung fortschreibt, um ein Reduktionspotential von mehr als einem Drittel zu erreichen. Ferner bemüht sich die Bundesregierung in Gesprächen mit der deutschen Automobilindustrie, diese zu einem Beitritt zur Vereinbarung mit der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge (Klimavereinbarung) zu bewegen.

Selbstverpflichtungen der Wirtschaft wie die Zusage zur Entwicklung von 3-Liter-Autos, zur Altautorücknahme oder zur Reduktion der Kohlendioxidemissionen sind grundsätzlich ordnungspolitisch umstritten.

So weist der Sachverständigenrat für Umweltfragen darauf hin, dass das Ziel einer Kraftstoffverbrauchssenkung um 25 % in 15 Jahren, ausgehend von einem relativ hohen Durchschnittsverbrauch, ohnehin im Rahmen der zu erwartenden technischen Entwicklung liegt. Berücksichtigt werden muss bei der Zusage des VDA auch, dass sie an Bedingungen - wie Einsatz von Verkehrsmanagement-, Leit- und Informationssystemen, die Beseitigung von Infrastrukturengpässen, integrierte Verkehrskonzepte, Einsatz alternativer Kraftstoffe und Antriebe sowie steuerliche Maßnahmen (Einführung einer emissionsabhängigen Kraftfahrzeugsteuer) - geknüpft ist, deren (unvollkommene) „Nicht- Realisierung“ immer als Entschuldigung für das Verfehlen des Verbrauchssenkungszieles herangezogen werden kann.

---

[72] Eine Studie im Auftrag der EU-Kommission kommt zu dem Ergebnis, dass eine im Jahre 2000 eingeführte und nach CO_2-Emissionen differenzierte Kfz-Steuer eine Minderung von 6 % im Jahre 2008 bewirkt hätte. Vgl. European Commission's Directorate-General for Environment (2002): Fiscal Measures to Reduce CO2 Emissions from New Passenger Cars (*COWI 2002*). Brüssel. http://europa.eu.int/comm/-environment/co2/cowi_finalreport.pdf Planungen der Bundesregierung zielen ebenfalls auf eine CO_2-bezogene Kfz-Steuer.

Nach einer Studie des ZEW Mannheim[73] sind Selbstverpflichtungen unzuverlässig, wenig substantiiert und marktwirtschaftlich kontraproduktiv. Viele Beispiele belegen, dass die Ergebnisse derartiger Zusagen lediglich den „bau“ (business as usual)-Pfad abdecken, eine Entwicklung, die sich aufgrund des technischen Fortschritts ohnehin einstellen würde. Selbstverpflichtungen und Vereinbarungen im Tauschgeschäft gegen Verzicht auf gesetzgeberisches Handeln sind nur dann zielführend, wenn sie mit klaren und transparenten Zielen, regelmäßiger Überwachung und Kontrollen (Monitoring) sowie gegebenenfalls auch Sanktionsmechanismen verbunden sind.

Die CO_2-Emissionen des Straßenverkehrs können bis 2005 nicht um 25 % verringert werden. Die bisher erreichten Absenkungen des Kraftstoffverbrauchs sind durch eine Vielzahl von anderen Maßnahmen erreicht worden und nicht das Ergebnis freiwilliger Selbstverpflichtungen.

Verbesserte Kooperation und Verknüpfung der Verkehrsträger

Die Verlader und die Verkehrsträger sind von der Bundesregierung aufgefordert, verstärkt telematische Systeme sowie ein modernes Logistik- und Flottenmanagement zu nutzen bzw. anzuwenden. Die Bundesregierung will ihren Part durch ein Anti-Stau-Programm beisteuern. Durch die verstärkte Implementierung moderner Technologien erhofft sich die Bundesregierung einen Beitrag zur Lösung der Probleme, die insbesondere mit dem rasanten Anstieg des Straßenverkehrs verbunden sind.

In einer Zeit, in der es aus umweltpolitischen Gründen und auch wegen des enormen Flächenbedarfs immer schwieriger wird, für den Bau neuer oder den Ausbau vorhandener Infrastrukturen - insbesondere im Straßen- und Luftverkehrsbereich - eine breite gesellschaftliche Akzeptanz zu finden, erscheint der Gedanke bestechend, durch TK-Techniken Teile der Verkehrs- und Umweltbelastungen verringern zu können. Telematik kann Effizienzsteigerungen im Güterverkehr ermöglichen (Auslastungserhöhung, Verminderung von Leerfahrten, Verlagerung auf Bahn/Schiff) und auch dazu beitragen, den öffentlichen Verkehr generell attrakti-

[73] Von Rennings, K.,. Brockman, K. L. und Bergmann, H.: Möglichkeiten und Grenzen von freiwilligen Umweltschutzmaßnahmen der Wirtschaft unter ordnungspolitischen Aspekten. In: future-Magazin "Unternehmen und Umwelt" 1/97.

ver zu machen (Leit- bzw. Lenkungssysteme für den Parkraumsuchverkehr, Ampelvorrangschaltungen für den öffentlichen Verkehr und Sonderspuren innerorts)[74]

Die Möglichkeiten der Beeinflussung und Reduzierung des Straßengüterverkehrs durch TK-Techniken hängen im Wesentlichen von der Verbreitung und Akzeptanz der entsprechenden Dienste ab. Kollektive Leitsysteme sind tendenziell schneller zu realisieren als an viele Einzelentscheidungen gebundene Individualkommunikationslösungen. Die Ausstattung der Fahrzeuge mit Mobilfunktechnik geschieht in den nächsten Jahren parallel zum Einsatz des Fuhrparks. Eine Durchdringung des Straßennetzes mit „Telematik"-Einrichtungen ist bis 2010 allerdings nur eingeschränkt zu erwarten

Im Übrigen ist auch darauf hinzuweisen, dass das Risiko verkehrsinduzierender Wirkungen ins Kalkül einbezogen werden muss. Praktisch wirkt eine Systemsteuerung des Straßenverkehrs mittels moderner Systeme der Datenerfassung, der Kommunikations-, Leit- und Informationstechniken zur besseren Ausnutzung der Infrastruktur wie ein Kapazitätsausbau, wie Straßenneubau. Kontraproduktive Effekte auf die CO_2-Emissionen - durch Verkehrsinduzierung - können nicht unbedingt ausgeschlossen werden, zumal dann nicht, wenn das Straßennetz flächendeckend mit derartigen Techniken ausgestattet ist. Die Gefahr besteht auch beim Anti-Stau-Programm der Bundesregierung. Die flächendeckende Beseitigung von Engpassstellen im Straßennetz kann wie eine generelle Erweiterung des Straßennetzes zusätzliche Verkehre abstrahieren und somit kontraproduktive Wirkungen auslösen. Ein modernes Logistik- und Flottenmanagement ist in jedem Falle eine sinnvolle ergänzende Maßnahme zur Reduktion der Fahrleistungen und des Kraftstoffverbrauchs. [75]Die Entscheidungen, welche telematischen Systeme in welchem Umfang letztlich installiert werden, sind noch nicht getroffen. Das gleiche gilt für das Anti-Stau-Programm. Es wird hier im Unterschied zum 3. Nationalbericht der Bundesregierung (3,5 Mio. t CO_2) ein Reduktionspotenzial von 2 Mio. t CO_2 angenommen. Nach 2010 dürften die Wirkungen größer werden.

---

[74] Umweltbundesamt (2003): CO_2-Minderung im Verkehr - Ein Sachstandsbericht des Umweltbundesamtes - Beschreibung von Maßnahmen und Aktualisierung von Potenzialen. Berlin, S. 14.

[75] Es ist nicht grundsätzlich auszuschließen, dass ein künftig verstärkter elektronischer Handel (eCommerce-B2B) hier unterstützend wirken kann. Vgl. Fraunhofer-Arbeitsgruppe ATL und DIW Berlin (Nov. 2003, vorläufiger Endbericht): Fallstudien zu Wirkungen des eCommerce für Transportleistungen, Verkehrs- und Logistiksystemänderungen. Gutachten im Auftrag des BMVBW. Berlin, Nürnberg.

Kampagne Klimaschutz im Verkehrsbereich

Aktion Klimaschutz heißt eine bundesweite Kampagne, die vor allem die privaten Verbraucher im Blick hat. Sie und die Kleinverbraucher in Handel, Gewerbe und Dienstleistung sollen in den nächsten Jahren darüber informiert werden, wie sie ihren Teil zum Klimaschutz beitragen können. Erreicht werden soll im Verkehrssektor eine sparsame Fahrweise, die verstärkte Nutzung von Verkehrsketten (Fahrrad, Pkw, ÖPNV, Bahn und Flugzeug) sowie ein verstärkter Einsatz von Leichtlaufölen und –reifen.

Alle oben genannten Elemente sind geeignet, nennenswerte CO_2-Einsparungen zu bewirken. Bisher ist allerdings eine derartige Kampagne nicht in Sicht. Es ist nicht erkennbar, wie durch bloße Aufforderung hier Potentiale erschlossen werden können. Eine energiesparende Fahrweise kann sich durch eine entsprechende Schulung oder durch „harte“ ökonomische Instrumente einstellen. Auf freiwilliger Basis können, wie die Erfahrung zeigt, nur marginale Potentiale erschlossen werden Die Nutzung der Verkehrsmittel bzw. von Verkehrsketten hängt in erster Linie von „harten“ Faktoren wie Preisen, Kosten, Fahrzeiten und Fahrtzwecken ab, weniger davon, ob durch Kampagnen etwas empfohlen wird. Ähnlich ist auch die Aufforderung an die Wirtschaft und das Kfz-Handwerk zu beurteilen, Leichtlauföle und -reifen zu verwenden. Auch hier entscheiden letztlich nur ordnungspolitische Gebote oder marktwirtschaftliche Anreizmechanismen. Das „3-Liter-Auto“ ist zu einem für alle erschwinglichen Preis noch nicht auf dem Markt, um auf breiterer Basis gekauft und genutzt zu werden.

Die von der Bundesregierung für 2005 erwarteten CO_2-Minderungseffekte aus der Klimaschutzkampagne von 5 Mio. t dürften auch im Jahr 2010 nicht realisiert werden können. Unter dem Vorbehalt, dass die Klimakampagne nicht intensiviert und forciert wird, kann mit einer Reduktion von 2 Mio. t CO_2 gerechnet werden. Die Wirkungen nach 2010 dürften kaum größer sein.

Emissionsabhängige Landegebühren auf deutschen Flughäfen

Auf nationaler Ebene will die Bundesregierung emissionsdifferenzierte Start- und Landegebühren einführen. Diese werden angepasst, falls es zu Überschneidungen mit einer EU- weit oder global eingeführten Emissionsabgabe kommen sollte. Die Bundesregierung setzt sich im Rahmen der EU für die Einführung einer emissionsbezogenen Abgabe ein. In dieser Hinsicht unterstützt sie nachdrücklich - entsprechend den Beschlüssen des Verkehrsministerrates, des Umweltministerrates und des ECOFIN-Rates - den Aktionsplan der Kommission „Luftver-

kehr und Umwelt“ und ermutigt die Kommission, entsprechende Vorschläge im Jahr 2002 vorzulegen.[76] Die Bundesregierung setzt sich in den zuständigen Gremien der ICAO dafür ein, dass international so schnell wie möglich eine Kerosinbesteuerung oder eine aus Umweltsicht wirksamere emissionsbezogene Abgabe auf Treibhausgasemissionen oder ein mindestens ebenso umweltwirksames Emissionshandelssystem eingeführt wird[77]. Voraussetzung für die Einbeziehung des Flugverkehrs in den Emissionshandel ist allerdings die Festlegung einer maximalen Emission („cap“) und die Einbeziehung des internationalen Flugverkehrs in das Kyoto-Protokoll.

Die emissionsabhängigen Landegebühren können in Verbindung z.B. mit einer Kerosinbesteuerung ein sehr wirksames Instrument zur Verringerung der CO_2-Emissionen sein. Die bisher von der Bundesregierung ergriffenen Maßnahmen bewirken allerdings noch keine CO_2-Minderungen. In Abschnitt 5.5.3 (Ein Nachhaltigkeitsszenario für den Verkehrsbereich) wird die Absicht der Bundesregierung implizit berücksichtigt, eine emissionsabhängige Landegebühr zu einzuführen[78]. Grundlage hierfür ist ein Forschungsprojekt, die das DIW zusammen mit dem TÜV Rheinland Sicherheit und Umweltschutz GmbH(TSU) und dem Wuppertal Institut (WI) durchgeführt hat. In dieser Studie wurden nichttechnische Maßnahmen zur Verringerung der aus dem Luftverkehr resultierenden Schadstoffbelastungen untersucht.[79] Emissionsbezogene Landegebühren und eine Kerosinbesteuerung waren dabei die entscheidenden Instrumente.

Mobile Klimatechnik und Verwendungsverbot bei der Befüllung von Autoreifen

Die Auswirkungen einer Ablösung von H-FKW-Klimaanlagen durch CO_2-Anlagen und eines Verwendungsverbots von anderen Treibhausgasäquivalenten (SF6) werden implizit in Abschnitt 3.11.1.2.3 („F-Gase“: H-FKW, CF_4, C_2F_6, SF6) behandelt.

---

[76] Vergleichbare Modelle ohne CO_2-Reduktionskomponente sind in Schweden und der Schweiz bereits eingeführt.

[77] Solche Emissionshandelssysteme werden derzeit diskutiert, sind aber zur Zeit noch nicht definiert.

[78] Die dort für den Luftverkehr ermittelten Potenziale werden allerdings nicht separat ausgewiesen, sondern sind integraler Bestandteil des insgesamt für den Verkehrsbereich ermittelten CO_2-Minderungspotenzials. Die Ergebnisse sind voll kompatibel mit den Angaben des UBA (UBA 2003, S. 19f.), dass Abgaben auf den Luftverkehr zusammen mit anderen organisatorischen Maßnahmen ein Potenzial von 3,5 Mio. t CO_2 erschließen könnten. Die Einführung einer moderaten Kerosinsteuer und einer hohen Emissionsabgabe spielen dabei eine zentrale Rolle.

[79] TÜV Rheinland Sicherheit und Umweltschutz GmbH (TSU), Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Wuppertal Institut (WI) und Forschungsstelle für Europäisches Umweltrecht an der Universität Bremen (2001), a.a.O.

Verkehrsmittelunabhängige Entfernungspauschale

Ein Instrument, mit dem Pendlern ein Teil ihrer Pkw-Fahrtkosten steuerlich erstattet wird, ist mit dem Kilometer-Pauschalbetrag für Fahrten von Arbeitnehmern mit dem Pkw zwischen Wohnung und Arbeitsstätte seit vielen Jahren im Einkommenssteuerrecht verankert. Danach können die entsprechenden Beträge[80] als Werbungskosten vom zu versteuernden Einkommen abgezogen werden. Dies bedeutet, dass die Höhe des erstatteten Betrages vom jeweiligen Grenzsteuersatz und damit von der Höhe des zu versteuernden Einkommens positiv abhängig ist. Eine solche Form der Kompensation fördert einerseits die Entwicklung zu längeren Fahrtweiten, sie entspricht andererseits aber auch nicht der Struktur der Einkommensbelastung, die insbesondere bei Pendlern mit niedrigem Einkommen höhere Anteile erreicht.[81] Sie begünstigt dagegen diejenigen Einkommensschichten überproportional, deren Einkommensbelastung durch Kraftstoffausgaben tendenziell unterdurchschnittlich ist. Darüber hinaus wird mit der einkommenssteuerlichen Regelung auch die Belastung von Ausbildungspendlern nicht erfasst. Die Pendlerpauschale trägt daher nicht zu einem sozialen Ausgleich der finanziellen Belastungen durch Fahrten im Berufs- und Ausbildungsverkehr bei, andererseits wird durch ihre räumliche Wirkung das ökologische Ziel der Verminderung des Energieverbrauchs konterkariert.

Im Zuge einer Reform des Steuerrechts unter Aspekten einer nachhaltigen Energieversorgung liegt es daher nahe, diese Form der Subventionierung von Fahrten im Berufsverkehr, die bereits seit 1955 im Steuerrecht verankert ist, zu überdenken.

Die letzte Veränderung der Entfernungspauschale hat sich im Jahr 2000 ergeben. Mit dem „Gesetz zur Einführung einer Entfernungspauschale“ (Bundesgesetzblatt 200, S. 1918f.) ist die isolierte Förderung des Pkw-Verkehrs zu Gunsten einer für alle Verkehrsmittel geltenden Regelung abgelöst worden. Gleichzeitig wurde allerdings erstmals die Subventionierung von weiten Fahrten gegenüber solchen über kürzere Distanzen erhöht: Für Fahrten über mehr als 10 km kann nunmehr ein Pauschalsatz von 0,80 DM je Kilometer geltend gemacht werden, gegenüber 0,70 DM für Fahrten mit einer Länge bis zu 10 km.

Unter dem Gesichtspunkt der angestrebten CO_2-Minderung ist diese Maßnahme grundsätzlich negativ zu beurteilen. Sie bietet keinerlei Anreize, die kontraproduktiven Wirkungen einer weiteren Zersiedelung zu stoppen. Vorstellbar wäre eine degressive Entfernungspauschale, die ak-

[80] Pauschalbetrag je Kilometer multipliziert mit der einfachen Entfernung zwischen Wohn- und Arbeitsort.

tuell jedoch nicht diskutiert wird. Das Ziel, den öffentlichen Verkehr attraktiver zu machen, ist erkennbar nicht erreicht worden. Die Entfernungspauschale in ihrer jetzigen Ausgestaltung wirkt eher kontraproduktiv und steht auch in direktem Widerspruch zu anderen Maßnahmen wie der integrierten Verkehrsplanung, bei der verkehrsreduzierende Siedlungsstrukturen einbezogen werden und die regionalen Strukturen gestärkt werden sollen.

Verwendung von Leichtlaufölen und –reifen

Die Bundesregierung will Gespräche mit der Automobilindustrie mit dem Ziel führen, bei Neufahrzeugen in sehr breitem Umfang Leichtlauföle und Leichtlaufreifen einzusetzen. Im 3. Nationalbericht der Bundesregierung werden CO_2-Minderungspotenziale von 3 bis 5,5 Mio. t genannt. Das UBA erwartet sogar eine Minderung von 11 Mio. t CO_2 (Leichtlauföle: 5,2 Mio. t, Leichtlaufreifen 5,8 Mio. t), allerdings unter der Voraussetzung, dass sich diese Maßnahmen auf Alt- und Neufahrzeuge erstrecken. und dass eine umfassende CO_2- oder Verbrauchskennzeichnungspflicht eingeführt wird[82].

Die Maßnahme ist bisher lediglich ein Plan und bisher noch nicht präzisiert. CO_2-Minderungspotentiale können daher nicht angegeben werden.

Verkehrswirtschaftliche Energiestrategie

Ziel der verkehrswirtschaftlichen Energiestrategie ist es, sich auf einen oder maximal zwei nach technischen, ökonomischen und ökologischen Kriterien geeigneten alternativen Kraftstoff für Personen- und Nutzfahrzeuge zu verständigen. Hierauf aufbauend sollen dann eine gemeinsame Strategie für eine breite und flächendeckende Markteinführung und Vorstellungen über die dafür notwendigen Rahmenbedingungen entwickelt werden. Sollte z.B. die Langfristoption Wasserstoff als Kraftstoff in Brennstoffzellen oder Verbrennungsmotoren, auf breiter Front realisiert werden, wären damit lokale Nullemissionen und drastische CO_2-Minderungen in der gesamten Energiekette zu erreichen, sofern Wasserstoff mithilfe von Solarenergie hergestellt würde. Der Einsatz von Erdgas im Verkehrsbereich sowie Methanol werden im 3. Nationalbericht im Rahmen der verkehrswirtschaftlichen Energiestrategie als alternative umweltfreundliche Energieträger genannt.

---

[81] Voigt, U. (1999), S. 451 ff.

[82] Umweltbundesamt (2003), a.a.O., S. 41ff.

Es heißt nur, die Bundesregierung wolle die Automobil- und Energieunternehmen bei der Umsetzung einer derartigen Strategie unterstützen. Die Form der Unterstützung, Zeitpläne und anderes werden nicht benannt. Im hier betrachteten Zeitraum sind keine Wirkungen zu erwarten.

Integrierte Verkehrsplanung

Hierunter wird die Entwicklung eines Gesamtverkehrskonzeptes verstanden, das verkehrsreduzierende Siedlungsstrukturen einbezieht und regionale Kreisläufe stärkt. Es wird nichts darüber ausgesagt, wie die Verkehrsträger untereinander und mit der Siedlungsstruktur integriert und verzahnt werden sollen und mit welchen Maßnahmen das erreicht werden kann.

Es ist richtig, dass sich Siedlungsstruktur und Flächennutzung auf den Produktions- und Konsumbereich und deren Struktur und Niveau auswirken und die zurückzulegenden Entfernungen und damit auch die Verkehrsleistungen erheblich beeinflussen. Es ist ebenfalls richtig, dass kurz- und mittelfristige Restriktionen im Hinblick auf die Verkehrsteilung wie gegebene Infra-, Siedlungs- und Flächennutzungsstruktur langfristig keine Gültigkeit mehr haben. Will man das Instrument der Siedlungsstrukturpolitik nutzen, dann ist es erforderlich, schon heute mit entsprechend vorsichtig dosierten Eingriffen zu beginnen. Die Flächennutzungspolitik kann durch eine gezielte Verteilung der Aktivitätsorte (Standort- und Gewerbeansiedlungspolitik) Einfluss auf die Entfernungsstruktur und damit auch auf Verkehrs- und Fahrleistungen nehmen. Bis 2010 dürften die Auswirkungen gering sein, langfristig jedoch erheblich an Bedeutung gewinnen.

Eine Änderung der bisherigen Raumordnungs- und Städtebaupolitik kann jedoch von der Bundesregierung nicht angeordnet oder durchgesetzt werden. Hier wären die Länder und vor allem die Kommunen gefordert. Baurechtliche Beschränkungen der Kommunen hinsichtlich der Errichtung von Siedlungen, Gewerbe- und Einkaufszentren oder einer Verdichtung der Landnutzung für Wohn- und Gewerbezwecke wären sehr weitreichend und erforderten sehr viel Durchsetzungsvermögen. Da sich alle Gemeinden untereinander im Wettbewerb um Gewerbeansiedlungen und Arbeitsplätze befinden, hätte eine solche Strategie nur dann Erfolg, wenn alle im Gleichschritt vorgingen. Hierbei wären eine Vielzahl von rechtlichen und fiskalischen (vertikaler und horizontaler Finanzausgleich) Problemen bzw. Hürden zu überwinden. Es ist derzeit kein politischer Wille erkennbar, auch nur in Ansätzen eine derartige Politik voranzutreiben.

Eine Präzisierung eines entsprechenden Maßnahmepaketes steht noch aus, ebenso wie ein Bundesverkehrswegeplan, der die Verkehrsträger unter ökologischen Gesichtspunkten stärker als bisher verzahnt. Maßnahmewirkungen können deshalb nicht angegeben werden.

Anti-Stau-Programm

Das Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen hat ein Programm zur Beseitigung von Engpässen im Autobahnnetz, im Schienenwegenetz und im Netz der Bundeswasserstraßen vorgelegt, mit dem über die normalen Verkehrsinfrastrukturinvestitionen hinaus schnellstmöglich gravierende Engpässe beseitigt werden. Die Verkehrsströme sollen verflüssigt werden. Begründet wird das Programm damit, dass trotz bisheriger hoher Investitionen in die Verkehrsinfrastrukturen es infolge der Verkehrszunahme weiterhin permanenten Stau auslösende Engpässe gibt, die früher als es die geltende Finanzplanung erlaubt, beseitigt werden sollen. Die Investitionen aus der normalen Haushaltsfinanzierung reichen nicht aus, um mittelfristig zu einer signifikanten Entschärfung der Stausituation zu kommen. Die Investitionsmittel werden auch zur Beseitigung von Engpässen im Schienen- und Wasserstraßennetz eingesetzt. Die geplante Verwendung von Einnahmen aus der streckenbezogenen Gebühr für Lkw ist ein wichtiger Schritt, um diese zusätzlichen Investitionen zu finanzieren. Die Mittel des Anti-Stau-Programms werden ab 2003 verfügbar sein. Das auf 5 Jahre (2003 bis 2007) angelegte Programm hat ein Volumen von rund 3,75 Euro.

Es ist grundsätzlich positiv zu beurteilen, wenn Engpässe beseitigt werden und wenn nicht nur Straßen-, sondern auch Eisenbahn- und Binnenschifffahrtsprojekte gefördert werden. Allerdings ist mit diesem Programm keine grundlegende Umkehr der bisherigen Verkehrspolitik verbunden. Alle bekommen etwas ab, es werden verkehrspolitisch keine grundlegend anderen Akzente gesetzt. Die zusätzlichen finanziellen Mittel aus den Mauteinnahmen erlauben lediglich ein Investitionsbudget, das ohne zusätzliche Finanzausstattung niedriger gewesen wäre. CO_2-reduzierend ist ein solches Programm für sich allein genommen nicht. Jeder Infrastrukturausbau hat auch verkehrsinduzierende Effekte. Die Beseitigung von staubedingten CO_2-Emissionen ist problematisch, wenn induzierte Verkehre die erzielten Minderungen kompensieren und gegebenenfalls dazu beitragen, dass mittel- und langfristig noch mehr emittiert wird.

Zielführend sind politische Maßnahmen dann, wenn sie geeignet sind, die Verkehrs- bzw. Transportbedürfnisse zu verringern und/oder die Verkehrsmittelwahl in Richtung auf die Benut-

zung umweltverträglicherer Verkehrsmittel zu lenken und/oder den spezifische Energiebedarf sowie die daraus resultierenden spezifischen Abgasemissionen zu senken. Das Anti-Stau-Programm erfüllt diese Kriterien nicht.

Förderung des Fahrradverkehrs

Die Bundesregierung fördert den Fahrradverkehr insbesondere durch das Radwegeprogramm. des Bundes[83]. In der Förderung des Fahrradverkehrs sieht die Bundesregierung noch erhebliche Möglichkeiten zur Vermeidung von Pkw-Kurzstreckenfahrten. Bei der Hälfte aller Autofahrten in Deutschland wird eine Strecke von weniger als 5 Kilometer zurückgelegt. Allerdings sind hier auch Wege in topografisch schwierigem Gelände, Einkaufsfahrten, das Bringen und Abholen der Kinder zur/von der Schule, Fahrten bei schlechten Wetter- und Straßenverhältnissen. enthalten, die nicht ohne weiteres durch das Fahrrad substituierbar sind. Gleichwohl kann noch ein erhebliches Potential an Kurzstreckenfahrten mit dem Fahrrad, aber auch durch „zu Fuß gehen“ erschlossen werden. Im Radwegeplan ist eine Vielzahl von Maßnahmen genannt, die ausnahmslos als zielführend angesehen werden können. Schon in der Vergangenheit sind allerdings von den Kommunen viele fahrradfördernde Maßnahmen durchgeführt worden. Die im Nationalen Radverkehrsplan 2002-2012 genannten Maßnahmen fügen sich nahtlos in die bisherige Förderung ein, gehen aber auch nicht wesentlich darüber hinaus. Die Verdoppelung der Fördermittel durch den Bund, eine flexiblere Verwendung der GVFG-Mittel für den Radwegebau sowie eine gezielte Öffentlichkeitsarbeit, wie im Nationalen Radverkehrsplan vorgesehen, sind enorm wichtig. Die dort genannte Bandbreite für die CO_2-Minderungspotenzial von 3,98 Mio. t (Zunahme der Radfahrten um 32 %) bis 13,45 Mio. t (Abnahme der Pkw-Fahrten bis 10 km um 30 %) setzt aber voraus, dass die Radpolitik wesentlich konsequenter angegangen wird als bisher erkennbar. Die Erfahrungen aus Modellstädten und anderen Ländern lassen sich nicht in einem vergleichsweise kurzen Zeitraum umsetzen (2010). Das vom UBA genannte Minderungspotenzial von 3,5 Mio. t CO_2[84] ist zwar realistisch, jedoch nur längerfristig im Rahmen einer umfassenden und wesentlich aktiveren Radverkehrspolitik erschließbar. Die CO_2-Minderungseffete für 2010 werden hier auf 1 Mio. t geschätzt. Danach dürften die Wirkungen zunehmen.

---

[83] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen: Nationaler Radverkehrsplan 2002-2012-FahrRad! Maßnahmen zu Förderung des Radverkehrs in Deutschland. Berlin 2002.

[84] Umweltbundesamt (2003), a.a.O., S.15f.

Beeinflussung des Verbraucherverhaltens[85]

Ein nicht zu vernachlässigendes Potenzial der CO_2-Minderung ist durch ein umweltgerechtes Verhalten sowohl bei Wahl des Verkehrsmittels, der Fahrzeugbeschaffung als auch bei der Nutzung des Fahrzeuges zu erreichen.

Um eine einfache Zuordnung der jeweiligen Verbrauchswerte zu ermöglichen, war die Bundesregierung verpflichtet, die EG-Richtlinie 1999/94/EG zur Bereitstellung von Verbraucherinformationen über den Kraftstoffverbrauch und die CO2-Emissionen von neuen Personenkraftwagen bis zum 18.01.2001 in nationales Recht umzusetzen..Dieses Kennzeichnungsverfahren ist bereits bei der weißen Ware (wie Kühlschränke und Waschmaschinen) eingeführt und wird auch auch schon in einigen EU-Ländern verwendet..Diese Kennzeichnungspflicht steht für Deutschland noch aus. Nach UBA-Angaben könnten die CO_2-Emissionen binnen 10 Jahren um 5 Mio. t vermindert werden.

Der Energieverbrauch im Verkehr kann nicht nur durch technische Produkteigenschaften eines Kraftfahrzeugs beeinflusst werden, sondern ist auch von dem individuellen Nutzungsverhalten und dem Fahrstil des Fahrers abhängig. Eine kraftstoffsparende Fahrweise kann eine Verbrauchseinsparung von bis zu 25% je Fahrzeug bewirken. Ein emissionsarmer Fahrstil, der an neue Motortechnologien angepasst ist, sollte verstärkt in der Öffentlichkeit kommuniziert werden.. Als Maßnahmen wären eine Fahrerschulung, eine kontinuierliche Förderung der verbrauchsarmen Fahrweise, technische Einrichtungen am Fahrzeug (wie der standardmäßigen Ausstattung mit Verbrauchsanzeige).

Bis zum Jahre 2010 ließen sich nach UBA 5,9 Mio. t CO_2-Minderung realisieren, bis 2020 könnten es sogar 6,5 Mio t sein.

3.5.4.2.3 Zusammenfassende Betrachtung der Maßnahmenwirkungen

Die bei den Maßnahmen ermittelten Emissionsminderungseffekte sind nicht addierbar, da sich die Wirkungen der Einzelmaßnahmen z.T. überlagern und ergänzen sowie einen unterschiedlichen Umsetzungsstand haben. Die Maßnahmen sind z. T. „beschlossen“. in Kraft und umgesetzt, z.T. handelt es sich um „geplante“, zu „prüfende“ oder „vorgeschlagene“ Maß-

[85] Vgl. Umweltbundesamt (2003), a.a.O., S. 41ff.

nahmen. Im Folgenden werden die Maßnahmen nach den Kategorien *in Kraft/beschlossen* sowie *geplante weitere* Maßnahmen unterteilt.

Der Übersicht 3.5-1 sind die Ergebnisse für die in Kraft befindlichen bzw. beschlossenen Maßnahmen zusammengefasst.

Die gewichteten Wirkungen der in Kraft gesetzten bzw. beschlossenen Maßnahmen belaufen sich mithin auf etwa 14,0 Mio. t CO_2. Bezogen auf das (modifizierte) Referenzszenario der Enquête-Kommission, für das sich für 2010 eine CO_2-Emission im Verkehrssektor von knapp 185 Mio. t ergibt, wäre das eine Reduktion von nahezu 8 %. Ein hypothetisches „Ohne-Maßnahmen-Szenario“ würde hiernach zu etwa 199,0 Mio. t CO_2 -Emissionen führen; etwa ein Viertel mehr als 1990. Dagegen fallen die verkehrsbedingten CO_2-Emissionen im „Mit-Maßnahmen-Szenario“ im Jahre 2010 um rund 16 % höher aus als 1990.

Neben den bereits in Kraftbefindlichen bzw. beschlossenen Maßnahmen ist noch eine Reihe weiterer Maßnahmen geplant, bei denen die im Folgenden kurz skizzierten Wirkungen erwartet werden können (Wirkungen in Mio. t CO_2; in Klammern: gewichtete Wirkung):

Förderung Contracting	keine Aussage möglich	
Verbesserte Kooperation und Verknüpfung der Verkehrsträger	2	(1,9)
Kampagne Klimaschutz im Verkehrsbereich	2	(1,8)
Emissionsabhängige Landegebühren	noch keine Angaben möglich	
Mobile Klimatechnik	marginaler Anstieg	
Verwendungsverbot bei der Befüllung von Autoreifen	keine Angaben möglich	
Verwendung von Leichtlaufölen und Leichtlaufreifen	keine Angaben möglich	
Verkehrswirtschaftliche Energiestrategie	keine Angaben möglich	
Integrierte Verkehrsplanung	keine Angaben möglich	
Anti-Stau-Programm	keine	

Die geplanten weiteren Maßnahmen, deren Umsetzung aber nicht gesichert ist, würden danach, soweit sie heute quantifizierbar sind, ein zusätzliches Potenzial von etwa 6 Mio. t CO_2 beinhalten. Zusammen mit den Minderungen aus den bereits ergriffenen Maßnahmen würden demnach fast 20 Mio. t CO_2 reduziert.

Übersicht 3.5-1 Klimaschutzpolitische Maßnahmen für das „Mit-Maßnahmen-Szenario“ im Sektor Verkehr

Maßnahme/ Umsetzung/ Institution	Typ	Beschreibung/Ziele (Wirkungsbereich)	Umsetzungs-stand (Wirkungs-beginn)	Erwarteter Effekt 2008/2012 in Mio. t CO_2	Ausblick 2020 (qualitativ)
Ökologische Steuerreform in Kraft, mehrere Stufen bis 2003 Bundesregierung	E	Fahleistungsminderung im motorisierten Individualverkehr und im Straßengüterverkehr; Schaffung von Anreizen, andere Verkehrs-mittel zu benutzen, energieeffizientere Fahrzeuge zu nutzen und ggf. Verkehr zu vermeiden.	seit 1.4. 1999 in Kraft und in 5 Stufen bis 2003 voll-kommen umgesetzt	-5,0	abnehmend
Selbstverpflichtung der Bundesregierung Beschluss Bundesregierung	V	Senkung der CO2-Emissionen um 25 % bis 2005 und 30 % bis 2010; Ziel: Energieeffizienzsteigerungen	in Kraft	in den Wir-kungen der anderen Maßnahmen enthalten	in den Wirkungen deranderen Maßnahmen enthalten
Förderung des Ein-satzes von schwefel-freiem Kraftstoff in Kraft Bundesregierung	E	Förderung schwefelarmer bzw.-freier Kraftstoffe als Voraussetzung für verbrauchs- und emissionsarme Motortechniken durch Mineralölsteueranhebung für Kraftstoffe, die nicht Schwefelgrenzwert von 50 ppm ab 1.11.2001 bzw. 10 ppm ab 1.1.2003 einhalten; Ziel: Kraftstoffverbrauchsminderung	ab 1.11.2001 bzw. 1.1.2003	-2,0	steigend
Förderung des Fahrradverkehrs in Kraft Bundesregierung		Nationaler Radverkehrsplan 2002 - 2012 - FahrRad. Berlin 2002	in Kraft	-1,0	steigend
Bahnstrukturreform Beschluss Bundesregierung	E/R	Ausbau Schiene, Ausdehnung des kombinierten Ladungsverkehrs Ziel: Verrlagerung Güterverkehr von Straße auf Schiene	in Kraft	keine Wirkung	steigend
Emissionsbezogene Kfz-Steuer bei Pkw Beschluss Bundesregierung	E	Förderung des Einsatzes verbrauchsarmer Pkw Ziel: Energieeffizienzsteigerung im motorisierten Individualverkehr	ab 1.7.1997	-1,0	abnehmend
Senkung des durch-schnittl. Kraftstoffver-brauchs neuer Pkw Selbstverpflichtung Wirtschaft	V	Fortschreibung der freiwilligen Selbst-verpflichtung der deutschen Automobil-industrie über die weitere Senkung des durchschn. Kraftstoffverbrauchs neuer Pkw ab 2005 von 25 % auf 30 %; Ziel: Energieeffizienzsteigerung im Individualverkehr	in Kraft	keine	keine
Kampagne Klima-schutz im Verkehr Beschluss Wirtschaft/Bund	ET	Mehrere Zielrichtungen: sparsame Fahrweise, Leichtlauföle und -reifen, Kombination von Verkehrsträgern (Fahrrad, ÖPNV, Pkw, Bahn, Flugzeug), "3-Liter-Auto"; Ziel: Energieeffizienzsteigerung	in Kraft	-2,0	konstant
Verkehrsmittelunab-hängige Entfernungs-pauschale Beschluss Bundesregierung	R/E	Steuerliche Berücksichtigung von Fahrten zwischen Wohnung und Arbeitsstätte; Herstellung der steuerlichen Wettbewerbs-gleichheit zwischen den Verkehrsmitteln für den Weg zur Arbeit; Ziel: Verbesserung der Attraktivität von Fahrrad und ÖPNV und somit Senkung des Energieverbrauchs im Verkehr	01.01.2001	kontra-produktiv	kontra-produktiv

noch
Übersicht 3.5-1 Klimaschutzpolitische Maßnahmen für das „Mit-Maßnahmen-Szenario“ im Sektor Verkehr

Maßnahme/ Umsetzung/ Institution	Typ	Beschreibung/Ziele (Wirkungsbereich)	Umsetzungs-stand (Wirkungs-beginn)	Erwarteter Effekt 2008/2012 in Mio. t CO_2	Ausblick 2020 (qualitativ)
Autobahnbenutzungs-gebühr für Lkw Beschluss Bundesregierung	E	Strecken- und emissionsbezogene Autobahnbenutzungsgebühr für Lkw > 12 t zul. Gesamtgewicht; Ziel: Verlagerung Güterverkehr von Straße auf Schiene	Vorgesehene Implemen-tierung 2003	-1,0	abnehmend
Emissionsabhängige Landegebühren Beschluss Bundesregierung	ET	Einführung von emissionsabhängigen Start- und Landegebüren auf deutschen Flughäfen; Ziel: Energieeffizienzsteigerung im Flugverkehr	nicht genannt	noch keine Angabe möglich	noch keine Angabe möglich
Förderung erneuer-barer Energiequellen Beschluss Bundesregierung	E, F, R, D	Förderung des Einsatzes erneuerbarer Energiequellen zur Bereitstellung von Kraftstoffen. Ziel: Substitution fossiler Energien	In Kraft	-3,0	
1) Gewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen auf die direkten CO_2-Emissionen				**-14,0**	
2) Direkte CO_2-Emissionen des Sektors im "Mit-Maßnahmen-Szenario" (entspricht dem modifizierten Referenz-Szenario der Enquete-Kommission)				**184,8**	
3) Direkte CO_2-Emissionen des Sektors im Ohne-Maßnahmen-Szenario (1+2)				**198,8**	
CO_2-Emissionen im Basisjahr 1990 (lt. DIW Berlin; Energiebilanzsystematik)				**158,8**	

Vom Ergebnis her ist festzustellen, dass alle skizzierten Maßnahmen bei weitem nicht ausreichen, um im Betrachtungszeitraum auch im Verkehrsbereich eine Entwicklung zu realisieren, die mit dem globalen Nachhaltigkeitsziel kompatibel ist. Bei einigen Maßnahmen steht zudem zu befürchten, dass kontraproduktive Effekte ausgelöst werden. Das gilt insbesondere für die Maßnahmen, die im unmittelbaren oder mittelbaren Zusammenhang mit der Bundesverkehrswegeplanung (integrierte Verkehrsplanung, Anti-Stauprogramm) stehen. Im nationalen Bereich sind durchaus Spielräume für mehr verkehrliche Energie- und Umwelteffizienz vorhanden. Viele Einzelmaßnahmen erfordern in der Regel eine Vielzahl von flankierenden Maßnahmen, um wirksam zu sein.. Erforderlich ist eine konsistente, in wichtigen Grundsätzen in sich abgestimmte Verkehrspolitik, die Minderungserfolge einzelner Maßnahmen durch andere nicht wieder in Frage stellt.

Die Literaturangaben zu diesem Kapitel sind im Anhang zu Kapitel 5.5 enthalten.

3.6 Veränderte Energiedienstleistungen durch Materialrecycling, Re-Use, verbesserte Materialeffizienz, Materialsubstitution und Intensivierung der Produktnutzung (Fraunhofer ISI)

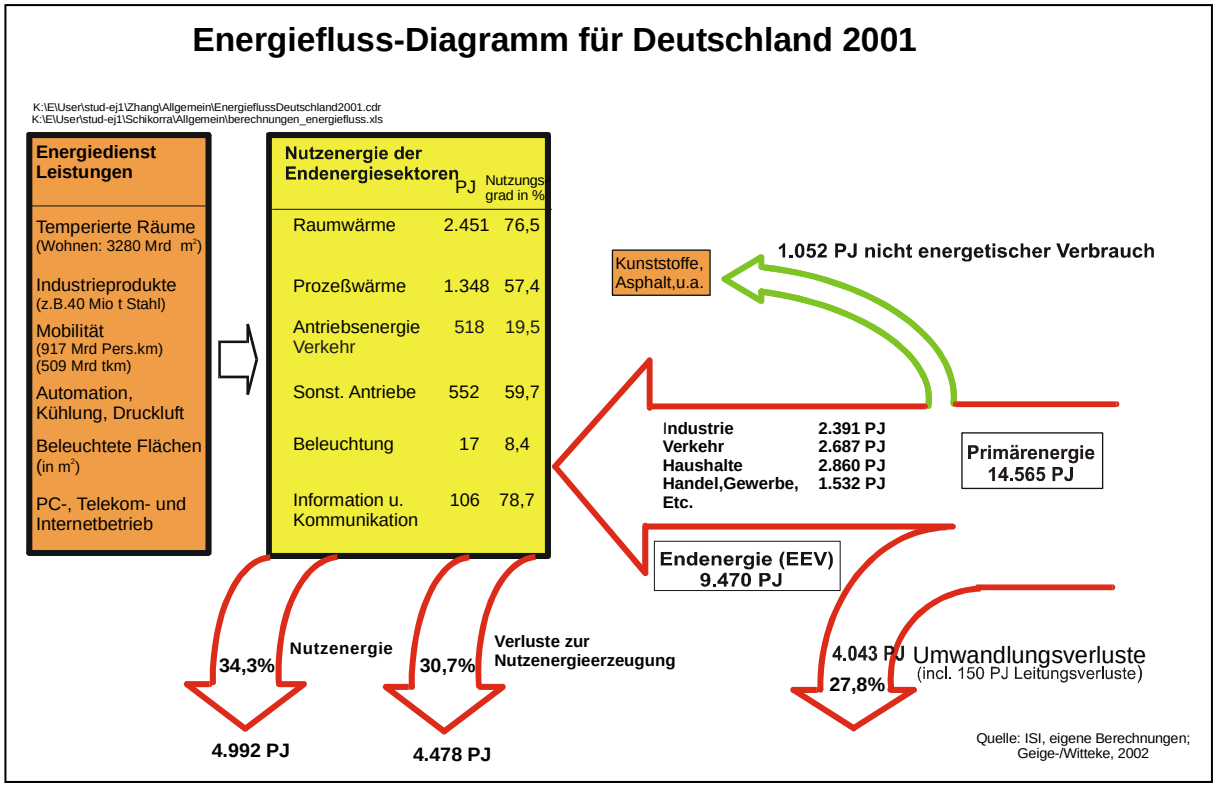
In den vergangenen 20 bis 30 Jahren konzentrierte sich die Energienachfrage- und Technologiepolitik auf bessere Umwandlungswirkungsgrade von Energiewandlern (z. B. von Kesselanlagen, Dampf- und Gasturbinen, Elektro- und Verbrennungsmotoren), auf die Reduktion von Verlusten auf der Nutzenergieebene bei Gebäuden (z. B. Wärmeschutz) und in Industrie und sonstigem Gewerbe (z. B. Verbesserungen und Substitutionen von energieintensiven Prozessen wie Trocknern, Öfen, Zerkleinern oder Kältenutzung). In diesen Energieanwendungsbereichen wurden erhebliche Energieeffizienzverbesserungen erzielt, so dass sich bei einzelnen Komponenten und Prozessstufen der spezifische Energiebedarf energieintensiver Werkstoffe heute teilweise bis auf 10 bis 30 % dem theoretischen Mindestbedarf genähert hat.

Das *Konzept der Nachhaltigen Entwicklung* und die Notwendigkeit, in allen Energieverbrauchssektoren die CO_2- und andere Treibhausgas-Emissionen langfristig trotz wirtschaftlichen Wachstums erheblich zur reduzieren, rücken nun auch den effizienten Umgang mit Materialien, die häufig energieintensiv hergestellt werden, (einschließlich des nicht-energetischen Verbrauchs, vgl. Kapitel 3.7.1) in das Blickfeld energiewirtschaftlicher und klimapolitischer Analysen. Denn *die energiebedarfsbestimmenden Faktoren* wie z. B. Wohnungsgröße je Person, Durchschnittsgewicht des Fahrzeugs sowie die Verwendung von primär- oder Sekundärmaterialien oder von Naturwerkstoffen *sind durch technologie- und innovationspolitische Maßnahmen gestaltbar, ohne die eigentlich gewünschte Energiedienstleistung zu schmälern* (Enquête-Kommission 2002). Eine effizientere Nutzung oder Ausgestaltung von Infrastruktur, Fahrzeugen, Produktionsanlagen und sonstigen Produkten führt in vielfältiger Weise zu einem geringeren Energiebedarf über die gesamte Nutzungskette von dem (verminderten) Nutzenergiebedarf bis zum Primärenergieeinsatz (vgl. Abbildung 3.6-1).

Die Gestaltbarkeit der energiebedarfsbestimmenden Größen durch energie- und klimapolitische Maßnahmen ist in der Praxis der bisher erstellten Energie-Szenarien kaum je beachtet worden, obwohl dieses Vorgehen den Kriterien der Szenariobildung von Konsistenz und Plausibilität widerspricht. Verständlich wird diese Praxis nur dadurch, dass man häufig den Technologieeinfluss von Energieeffizienz und -substitution aufgrund veränderter energiepolitischer Rahmenbedingungen isoliert analysieren wollte (vgl. Enquête-Kommission 2002). Ein anderer Grund mag sein, dass die Energiewirtschaftler bisher für ihre Szenarien keine Traditi-

on entwickelt haben, auch die energiebedarfsbestimmenden Größen in ihren Szenarien mittels kreislaufwirtschaftlicher und material- sowie technologiepolitischer Maßnahmen zu variieren.

Abbildung 3.6-1 Von den gestaltbaren energiebedarfsbestimmenden Größen bis zum Primärenergiebedarf – Energiefluss-Diagramm Deutschland 2001



Eine Verminderung der energiebedarfsbestimmenden Größen infolge einer *verbesserten Werkstoffeffizienz* im weiteren Sinne, die den Energiebedarf bzw. die Emissionen von Treibhausgasen bei der Herstellung von Werkstoffen und Produkten bzw. während der Nutzung von Produkten vermindern würde, hat sehr unterschiedliche technische und unternehmerische Ansatzpunkte. Diese seien hier in fünf Gruppen unterschieden (Jochem u. a. 2002):

- Ein *intensiveres Recycling* von energieintensiven Werkstoffen reduziert die Energienachfrage und die Emissionen i.a. wesentlich, weil der spezifische Energiebedarf zur Sekundärkreislaufführung von Werkstoffen in der Regel deutlich geringer ist als der Energiebedarf zur Primärerzeugung von Werkstoffen. Bisher wurde das Recycling im wesentlichen unter den Gesichtspunkten der Abfallwirtschaft und Rohstoffverwertung sowie Ressourcenschonung gesehen, weniger explizit unter Energie- und Klimaschutzgesichtspunkten (Hockerts 1995). Für den Zeitraum von 1975 bis 1995 ergaben Berechnungen für Deutschland, dass der Endenergiebedarf ohne Recycling-Maßnahmen bei ausgewählten Werkstoffen im Jahre

1995 um etwa 235 PJ höher gewesen wäre (Schön u.a., 2003). Gemessen am gesamten aktuellen Endenergieverbrauch der deutschen Industrie ergäbe sich im Falle des „Null-Recycling“ somit ein um etwa 10 % höherer Wert.

- Der *spezifisch geringere Materialeinsatz* für eine gewünschte Materialdienstleistung (analog zum Konzept der Energiedienstleistung; Schmidt-Bleek, 1994) ist in seiner energiewirtschaftlichen Bedeutung wenig untersucht; so sind beispielsweise die Stahlbleche heutiger Pkw oder die Glaswandungen heutiger Hohlglasbehälter deutlich dünner als vor 30 Jahren; sie leisten aber - bei einem Rückgang des spezifischen Werkstoffeinsatzes von etwa 0,5 bis 1,0 %/a - die gleichen Funktionen aufgrund verbesserter Materialeigenschaften und verbesserter Konstruktionen.
- Längerfristig könnte auch die Materialsubstitution, hier insbesondere die *Nutzung biogener Rohstoffe*, dazu beitragen, dass der Energiebedarf zur Herstellung von energieintensiven Primärwerkstoffen zurückgeht (Hüsing u.a., 2003). Bereits realisierte Beispiele sind die wieder zunehmende Holznutzung als Bau- und Tischlerwerkstoff oder die Verwendung anderer nachwachsender Rohstoffe wie Flachs, Jute und Stärke als Substitutionswerkstoffe für Produkte auf petrochemischer Basis.
- Neben diesen Aspekten auf der Materialseite kann die *Nutzungseffizienz der Produkte durch Nutzungsintensivierung* noch verbessert werden; beispielsweise durch kurzzeitige Vermietung von Baugeräten, Reinigungsgeräten oder Lkw, das aufkommende Car-Sharing oder die Lohndienstleistungen bei Erntemaschinen und Produktionsanlagen (z. B. Pulverlackierung). Die Nutzungsintensivierung durch derartige Dienstleistungskonzepte reduziert den ungenutzten (Material-)Kapitalstock einer Volkswirtschaft, den entsprechenden Material- und Energiebedarf sowie die zugehörigen Treibhausgasemissionen (Fleig 2000). Sie ermöglicht auch geringere spezifische Kapitalkosten, geringere energiebezogene An- und Abfahrverluste und zuweilen die Wahl eines effizienteren Fahrzeuges oder Verfahrens. Zu bedenken sind auch Phänomene der heutigen oder absehbaren, aber ungewollten „Übernutzung“ von Produkten und Gebäuden. Markantes Beispiel sind die zu großen Wohnungen, in denen ältere Menschen nach Auszug der Kinder und eventuell eines Ehepartners leben. Diese Menschen würden auch gerne in eine kleinere Wohnung umziehen, wenn man ihnen eine Wohnung in einem vergleichbaren Wohnmilieu und eine Umzugshilfe anbieten würde. Erste Versuche dieser Umzugshilfen führten im Durchschnitt zu einem Wohnungsflächengewinn von 20 m^2 (Vogel/Liedke 1998).

- Schließlich ist es möglich, mittels der *Lebensdauerverlängerung von Produkten* oder *kaskadenförmiger Nutzung von Produkten* den spezifischen Materialbedarf und damit den Energiebedarf und die begleitenden Emissionen zu reduzieren (Schmidt-Bleek/Tischner 1995). Allerdings ist diese Strategie nicht grundsätzlich als emissionsmindernd zu bewerten, sondern nur dann, wenn die längere Nutzung des Produktes nicht mit einem erhöhten Energieverbrauch einher geht oder der energietechnische Fortschritt dieser Produktklasse sehr langsam verläuft.

Für die fünf o.g. technischen Optionen sind spezifische Energiebedarfsminderungspotenziale für die kommenden drei Jahrzehnte zu ermitteln. Dabei muss allerdings bedacht werden, dass in den Nachfrageannahmen für die Werkstofferstellung auch in der Referenzentwicklung der Energiebedarfsnachfrage bereits ein materialtechnischer (autonomer) Fortschritt implizit durch Annahmen zum inter- und intra-industriellen Strukturwandel berücksichtigt wurde. *Erst ein über diesen autonomen Trend der Materialeffizienz hinausgehender technischer Fortschritt wirkt sich somit als weiteres Energiesparpotenzial aus.* Deshalb muss zwischen einer Referenzentwicklung und einer zusätzlich durch Nachhaltigkeitspolitik reduzierten bzw. induzierten Materialnachfrage (Kreislaufwirtschaft, Materialsubstitutionspolitik) und Produktnutzungsintensität unterschieden (vgl. Kapitel 5.2).

Erste Schätzungen kommen zu dem Ergebnis, dass bereits im Referenzfall aufgrund dieser Veränderungen der energiebedarfsbestimmenden Größen ohne Veränderung der Energiedienstleistungen von Energieeinsparungen in der Größenordnung von 600 PJ, d.h. etwa 6,5 % des heutigen Endenergieverbrauchs auszugehen ist (vgl. Tabelle 3.6-1). Das zusätzliche Potenzial durch eine bewusste Nachhaltigkeitspolitik bei Produktnutzung und Lebensdauerverlängerung scheint zumindest in der gleichen Größenordnung bei gleichbleibenden Energiedienstleistungen bzw. Produkt- und Materialdienstleistungen zu liegen (Enquete-Kommission 2002). Die Materialeffizienz in den hier genannten fünf Ausprägungen hat nach diesen vorläufigen Erkenntnissen einen merklichen Einfluss auf die Nachfrage nach Energie in Höhe von mindestens 2 % des Primärenergiebedarfs.

Soweit die bisherigen Erkenntnisse es erlauben, ergeben sich die größten Energieeinsparpotenziale bei der *Fahrzeugherstellung und -nutzung* sowie im Bereich der *Papier- sowie Kunststoffherstellung und -nutzung.* Hinsichtlich der fünf diskutierten Optionen der Materialeffizienz scheint die spezifische Gewichtsreduktion (d.h. Leichtbau bei Fahrzeugen, Gebäuden), aber längerfristig auch die Materialsubstitution von besonderer Bedeutung zu sein. Dabei sind

in dem zuletzt genannten Technologiefeld die biogen erzeugten Materialien, auch infolge noch nicht analysierter gentechnischer und biotechnologischer Fortschritte, noch nicht untersucht worden.

Tabelle 3.6-1 Einfluss von Materialeffizienz und intensiverer Produktnutzung auf den Energiebedarf bis 2030, Referenz- und Reduktions-Szenario

	Zusätzliches Energieeinsparpotenzial 2030 in PJ durch									
	Verstärktes Recycling		Geringerer spez. Materialbedarf		Material-substitution		Nutzungs-intensität		Summe	
Werkstoff/ Produktgruppe	**Ref.**	**Reduk.**	**Ref.**	**Reduk.**	**Ref.**	**Reduk.**	**Ref.**	**Reduk.**	**Ref.**	**Reduk**
Stahl	30	60	5	30			-	-	35	90
Aluminium	23	43			100[1]	240[1]	-	-	83	187
Kunststoffe	30	90			10	20			40	110
Zement/Beton/Ziegel					2	10	-	-	2	10
Bitumen, Asphalt	5	11					-	-	5	11
Glas	5	10	5	25	5	10			15	45
Papier/Pappe	11	40	11	55	10	50	-	-	32	145
Straßenfahrzeuge			280[1]	550[1]			45	110	195	410
Baubereich, Maschinen/Anlagen			80	120					80	120
Büro- und Haushaltsgeräte										
Wohnungen							4	10	4	10
Summe, gerundet	104	254	281	580	87	234	49	120		
Gewichtet mit 0,9	94	230	253	520	78	210	45	110	**470**	**1 070**

[1)] In der Summe jeweils nur zu 60 % berücksichtigt.

Quelle: Enquete-Kommission 2002

Insgesamt kommen die bisherigen Überlegungen und Recherchen zu dem Schluss, dass die Möglichkeiten zur Reduktion von energiebedingten Treibhausgasen im Bereich des nichtenergetischen Verbrauchs und der Materialeffizienz in den kommenden 30 Jahren in einer Größenordnung von mindestens 1 100 PJ bzw. mehr als 50 Mio. t CO_2 liegen dürften; längerfristig könnten sie sich durch neue Möglichkeiten der Materialforschung und der Bio- und Gentechnologie sowie durch die Intensivierung der Nutzung von Produkten und Anlagen noch weiter deutlich erhöhen. Allerdings sind diese Möglichkeiten wenig oder nur bezogen auf einen relativ kurzen Zeithorizont von etwa 10 bis 15 Jahren untersucht worden. Die bisherigen Ergebnisse zeigen aber auch, dass es zur Realisierung dieser Reduktionspotenziale nicht

nur um klima- oder energiepolitische Maßnahmen geht, sondern um Forschung und Entwicklung, unternehmerische Innovationen (Pooling und Lohnaufträge statt Besitzen und selbst Produzieren) und eine zielgerichtete Produkt- und Materialkreislaufpolitik. Hinzu kommen neue Aspekte ungewollter *Übernutzung von Produkten oder Wohnflächen*, die im Wesentlichen auf die alternde Bevölkerung und ihre veränderten Bedürfnisse nach Energiedienstleistungen zurückzuführen sein dürfte. Ähnliches beobachtet man bei *schlecht genutzten Fabrikationshallen* infolge wesentlich größerer Leistungen von Maschinen und Anlagen gegenüber früher oder Potentiale durch mehrgeschossige Fabrikationsgebäude, wie es Anfang des 20. Jahrhunderts üblich war und in den letzten Jahrzehnten (vielleicht durch zu preisgünstige Angebote von Gewerbeflächen) völlig in Vergessenheit geraten ist.

Die hierzu erforderlichen Maßnahmen oder auch unternehmerischen Chancen und Herausforderungen sind bisher noch wenig artikuliert; ihre Formulierung innerhalb dieses Projektes konnte daher auf wenig analytische Arbeiten oder Erfahrungswerte zurückgreifen (z. B. Schön u. a. 2003).

Überblick über die Maßnahmen

Die relevanten, bereits ergriffenen oder geplanten politischen Maßnahmen stammen zum erheblichen Teil aus der Perspektive des Kreislaufwirtschaftsgesetzes und sind – abgesehen von der VerpackungsVO von 1991 - erst seit jüngster Zeit in Kraft (AltfahrzeugVO, Novelle AltölVO und GewerbeabfallVO) bzw. treten in 2003 in Kraft (AltholzVO, vgl. Übersicht 3.6-1). Zudem sind sie nicht zahlreich und lassen große technische und (vielleicht) wirtschaftliche Potentiale außer Acht. Die Vorschriften von Mindestwiederverwertungsquoten sind aus energetischer Sicht nicht unproblematisch, da sie Leichtbauweisen z. B. von PKW erschweren. Denn bei Leichtbauweisen erhalten die nicht verwertbaren Fraktionen (z. B. Spezialkunststoffe, Lacke) einen höheren Gewichtsanteil, aber die CO_2-Emissionsminderungen schlagen vor allem in der Nutzungsphase der Leichtfahrzeuge und nicht bei der Herstellung zu Buche. Dieser Zielkonflikt müsste entschärft werden, indem bei Novellierungen der Verordnungen typische Gewichtsklassen kombiniert werden mit jeweils angepassten Recyclingquoten.

Die umfassendste Bedeutung hat die Gewerbeabfall-Verordnung, die praktisch alle Massenwerkstoffe erfasst. Sehr langfristig ist aber die Konzeption der Kreislaufwirtschaft aus Energiegesichtspunkten nicht ohne Problematik, da man theoretisch sehr große Stoffmengen im

wirtschaftlichen Sekundärkreislauf halten könnte, aber andere technische Lösungen wie z. B. die Materialeffizienz und -substitution sowie die Intensivierung von Produktnutzung die im Kreislauf gehaltenen Mengen wesentlich geringer gestalten könnten, mit weniger Energieeinsatz bei Herstellung und Nutzung. Dies bedeutet, dass eine *integrale und an einer Nachhaltigkeits-Politik orientierte Konzeption der Materialeffizienz* und nicht allein die Vision einer Kreislaufwirtschaft entwickelt werden müsste. Dieser Ansatz wird auch weitgehend vom Grünbuch der Europäischen Kommission zur Integrierten Produktpolitik (EC 2001) sowie vom Entwurf zu einer Direktive des Europäischen Parlaments und des Rates für das Öko-Design von Gütern des Endverbrauchs (EU 2001) verfolgt und könnte für die kommenden zehn bis dreißig Jahre von zunehmender Bedeutung für eine retardierende Wirkung auf eine Reihe energiebedarfsbestimmender Größen sein. Die im Februar erlassene Richtlinie zu Elektro- und Elektronik-Geräten, die binnen 18 Monaten in deutsches Recht umgewandelt werden muss, dürfte auch einen kleinen Beitrag zur CO_2-Minderung infolge höherer stofflicher und thermischer Nutzung sein.

Zu den in Übersicht 3.6-1 genannten Maßnahmen liegen nur vereinzelt quantitative Angaben vor, z. B. zur Wirkung der VerpackungsVO im Dualen System (Prognos 2001). Hierbei handelt es sich meist um sehr partiell angelegte Schätzungen, welche die oben geforderte integrale Betrachtung der verschiedenen technischen und organisatorischen Möglichkeiten nicht beachten und daher in ihren Ergebnissen auch nicht einfach addiert werden können. Zudem sind heute manche Wiedergewinnungsverfahren rentabel, die zunächst erst durch Verordnungen technologisch initiiert werden mussten. Die durch verbesserte Materialeffizienz und durch Recycling in den vergangenen drei Jahrzehnten erreichte Energieeinsparung wird auf mindestens 200 PJ geschätzt. (Schön u.a. 2003). Für die kommenden drei Jahrzehnte wird im Referenzfall eine weitere Energieeinsparung von mindestens 50 bis 80 PJ oder 4 bis 7 Mio. t CO_2 erwartet.

Übersicht 3.6-1 Ergriffene und geplante Politiken und Maßnahmen im Bereich Materialrecycling und -verwertung mit der Wirkung der Verminderung energiebedarfsbestimmender Größen

Maßnahme/ Umsetzung/ Institution	Typ	Beschreibung/Ziele (Wirkungsbereich)	Umsetzungs-stand (Wirkungs-beginn)	Erwarteter Effekt 2008/2012 in Mio. t CO_2	Ausblick 2020 (qualitativ)
Verpackungs-Verordnung	R	Kennzeichnungspflichten und Einführung des Dualen Systems mit Abfallvermeidung und Sekundärrohstoffgewinnung	laufend, seit 1.1.2002	0,8	konstant
Altfahrzeug-Gesetz In Kraft: 1. Juli 2002 Bundesregierung	R	Kostenlose Rücknahmepflicht durch die Hersteller von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen, Festlegung konkreter Verwertungsquoten für einzelne Werkstoffe (duales System)	laufend seit 1.7.2002	k.A.	Abnehmend, falls es zu mehr Leichtbauweise kommt
Gewerbeabfall-Verordnung In Kraft: 1. Januar 2003 Bundesregierung	R	Erhöhte Anforderungen an die Verwertung von gewerblichen Siedlungsabfällen und von bestimmten Bau- und Abbruchabfällen. Vorbehandlungsanlagen müssen eine Verwertungsquote von mindestens 85 % erreichen.	laufend seit 1.1.2003	k.A.	Eventuell leicht abnehmend infolge höherer Materialeffizienz bei einigen Werkstoffen
Altholz-Verordnung In Kraft: Frühjahr 2003 Bundesregierung	R	Anforderungen an die stoffliche Verwertung sowie die Beseitigung von Holz (vgl. auch thermische Verwertung)	Beginn in 2004	Noch unklar, hängt von der Entwicklung der stofflichen Nutzung des Holzes als Werkstoff ab.	vermutlich steigend
Richtlinie zu Elektro- und Elektronik-Altgeräten, Europäische Kommission, Februar 2003	R	Innerhalb bestimmter Fristen müssen Altgeräte mit festgelegten Quoten verwertet werden. Die Finanzierung liegt bei den Herstellern	vermutlich wirksam ab August 2005	kleiner als 0,5 Mio. t	steigend
Selbstverpflichtung der AG Graphische Papiere (AGAPA)	V	Zusage der AG, eine stoffliche Verwertungsquote zu dauerhaft rund 80% zu erreichen	laufend seit 2001	k.A. abhängig von Produktionsentwicklung	konstant bis leicht steigend
Direktive zum Öko-Design von Produkten des Endverbrauchs Europäische Kommission In Diskussion	R	Die Direktive zielt auf eine breit angelegte Politik der Materialeffizienz mit einer Betrachtung über den gesamten Lebenszyklus eines Produktes. Die Wirkungen sind noch nicht quantifizierbar, weil das sehr breite Instrumentarium noch nicht spezifiziert ist. Langfristig wird die Direktive dazu beitragen, dass erhebliche Minderungen energiebedarfs-bestimmender Größen erreicht werden.	Dürfte durch die Unternehmen langsam vor Einführung aufgegriffen werden, um Marktführermerkmale zu generieren.	Mittel, noch nicht quantifizierbar (vermutlich unter 1Mio t CO_2)	Erheblich und steigend
Summe der Wirkungen der Einzelmassnahmen				**8**	**leicht steigend**
CO_2-Emissionen des Referenz-Szenarios insgesamt				**862**	**leicht fallend**
CO_2-Emissionen der Bundesrepublik Deutschland ohne Massnahmen zur Materialeffizienz				**870**	**konstant**

Quelle: BMU, Umwelt Nr.10/2002 und Nr. 6/2003

Hinzu kommen erheblich höhere Energieeinsparungen durch leichtere Fahrzeuge, die aber in diesem Kapitel wegen der Doppelzählungen nicht genannt werden (vgl. Kapitel 3.5). Hinzu kommen Effekte der Nutzungsintensivierung, die bisher kaum eine staatliche Förderung erfahren, aber langfristig für die CO_2-Emisionen von merklichem Einfluss sein könnten. Für die Referenzentwicklung der Nutzungsintensivierung wird hier von einer Wirkung von 1 bis 2 Mio. t CO_2 ausgegangen, wobei neben dem Car Sharing und der Lastwagen-Vermietung in-

dustrielle Fertigung im Lohnauftrag und später auch der Wohnungswechsel älterer Menschen (Vogel/Liedtke 1998) eine zunehmende Rolle spielen dürfte.

Zur Quantifizierung der CO_2 -Minderungspotenziale

Das Ergebnis derartiger (integraler) Materialeffizienz-Verbesserungen (spezifisch geringer Materialbedarf und Materialsubstitution) sieht man exemplarisch an der Vergangenheitsentwicklung der Verpackungsmaterialien (vgl. Tabelle 3.6-2).

Tabelle 3.6-2 Entwicklung von Verpackungsmaterialien von 1991 bis 2000 als Beispiel integraler Entwicklung reduzierter Nachfrage nach energiebedarfsbestimmenden Größen (ohne Minderung der Materialdienstleistungen)

Art der Verpackungsmaterialien	1991	2000 [1)]	Anteile 2000	Veränderung
	1.000 t	1.000 t	%	% / a
Verpackungsmaterialien, die der Verpackungsverordnung unterliegen				
Glas	4 637	3 690	26	-2,5
Weißblech	555	430	3	-2,8
Aluminium	72	52	0	-3,6
Kunststoff	1 628	1 447	10	-1,3
Papier, Pappe, Karton	5 395	5 296	38	-0,2
Verbunde	725	738	5	0,2
Summe	13 012	11 653	83	-1,2
Sonstige Verpackungsmaterialien				
Feinblech	410	309	2	-3,1
Holz, Kork	2 184	2 131	15	-0,3
Sonstige	16	16	0	0,0
Summe	2 610	2 456	17	-0,7
Gesamtsumme	15 622	14 109	100	-1,1
Bruttoinlandsprodukt [2)] in Mrd. €	1 712	1 965		1,5
Verpackungsintensität t/Mio. €	9,15	7,18		-2,7

[1)] Prognose bei Verpackungsverbrauch bzw. vorläufige Daten beim BIP
[2)] in Preisen von 1995

Quellen: UBA (2001); Statistisches Jahrbuch 2001; Berechnungen FhG-ISI

Während das Bruttoinlandprodukt in den 1990er Jahren um durchschnittlich 1,5 %/a zunahm, verminderte sich das Gewicht der Verpackungsmaterialien im Durchschnitt um 1,1 % jährlich, wobei Glas und Metalle deutlich schneller rückläufig waren.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass die Effekte verbesserter Materialeffizienz und Nutzungsintensivierung ein wesentlicher Bestandteil des inter- und intraindustriellen Strukturwandels

sind und somit in dem Referenz- und Mit-Maßnahmen-Szenario von der Logik her bereits enthalten sind. Für die Referenz-Entwicklung wird aufgrund der o.g. Effekte von einem CO_2-Minderungsbeitrag der bestehenden Maßnahmen von rd. 8 Mio. t CO_2 ausgegangen, darin enthalten sind etwa 5 Mio. t CO_2 aus dem Bereich des nicht-energetischen Verbrauchs (vgl. Kap. 3.7). Erst die Annahme zu weitergehenden Maßnahmen zur Verminderung energiebedarfsbestimmender Größen führt dann zu zusätzlichen Verminderungen des Energiebedarfs und der entsprechenden Treibhausgasemissionen (vgl. Kap. 5.2). Diese Perspektiven erhöhter Materialeffizienz und Nutzungsintensivierung von Produkten und Gebäudeflächen, aber auch von Materialsubstitution eröffnen ein völlig neues Feld politischer Handlungsoptionen, die bisher nicht (oder nur vage) unter Klimaschutzaspekten gesehen wurden (Enquête-Kommission 2002).

Literatur zu Kapitel 3.6

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (2001): Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990 bis 2000. DIW Berlin

BMU (2003): Verordnung des Bundes für eine nachhaltige Abfallwirtschaft. Praktizierte Kreislaufwirtschaft – ein Beitrag zum Ressourcenschutz. Sonderteil Umwelt Nr. 6, 2003

EC (European Commission) (2001): Green Paper on Integrated Product Policy. Brussels COM(2001)68 final

Enquête-Kommission "Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und Liberalisierung "(2002): Endbericht. Kap. 4.3.8. Deutscher Bundestag, BtDrs. 14/9400, Berlin, S. 312-343

European Parliament and European Council (2001): Draft Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on Establishing a Framework for Eco-Design of End Use Equipment, Brussels

Fleig, Jürgen (Hrsg.) (2000): Zukunftsfähige Kreislaufwirtschaft. Mit Nutzenverkauf, Langlebigkeit und Aufarbeitung ökonomisch und ökologisch wirtschaften. Schäffer-Poeschel Verlag Stuttgart,.

Hekkert, M.P.; Gielen, D.; Worrell, E.; Turkenburg, W.C. (2001): Wrapping Up GHG Emissions: An Assessment of Greenhouse Gas Emission Reduction Related to Efficient Packaging Use. In: Journal Of Industrial Ecology, Vol. 5, Nr. 1, 2001

Hockerts, K. et al (Hrsg.) (1995): Kreiskaufwirtschaft statt Abfallwirtschaft. Optimierte Nutzung und Einsparung von Ressourcen durch Ökoleasing und Service Konzepte. Schriften der Bayreuther Initiative für Wirtschaftsökologie, Ulm

Hüsing, Bärbel; Angerer, Gerhard; Gaisser, Sibylle; Marscheider-Weidemann, Frank (2003): Biotechnologische Herstellung von Wertstoffen unter besonderer Berücksichtigung von Energieträgern und Biopolymeren aus Reststoffen. Forschungsbericht FKZ 200 66 301. UBA-Texte 64/03. Umweltbundesamt. Berlin, September 2003.

Jochem, E., Favrat, D., Hungerbühler, K., Rudolf von Rohr, P., Wokaun, A., Zimmermann, M. (2002): Steps Towards a 2000 Watt Society – Development of a White Paper on R&D of Energy-Effcient Technologies. CEPE Report, Zürich Switzerland

Patel, M., Jochem, E., Marscheider-Weidemann, F., Radgen, P., v. Thienen, N. (2000): CO2 - Minderung durch Kreislaufwirtschaft und Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen - Eine Systemanalyse für den Chemiesektor. ISI-Bericht Karlsruhe

Prognos (2001): Das Duale System in Deutschland – Nachhaltigkeitsbewertung und Perspektiven. Basel/Köln

Schmidt-Bleek, F. (1994): Wieviel Umwelt braucht der Mensch? MIPS - Das Maß für ökologisches Wirtschaften. Basel

Schmidt-Bleek, F.; Tischner, U. (1995): Produktentwicklung: Nutzen gestalten - Natur schonen. Paperbook 270. Economy Promotion Institute, Wien

Schön, M., Angerer, G., Eichhammer, W., Jochem, E., Wietschel, M. (2003): Systemanalyse zu den Kreislaufpotenzialen energieintensiver Werkstoffe und ihr Beitrag zur rationellen Energienutzung zwischen 1970 und 2030 in Deutschland. ISI-Bericht Karlsruhe

Statistisches Bundesamt (2002):Statistisches Jahrbuch 2001. Wiesbaden

UBA (Umweltbundesamt, 2001): Statistisches Jahrbuch 2001. Berlin

Vogel, A., Liedtke, C. (1998): Öko-effiziente Dienstleistungen - Ein Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung. Zeitsch. Sozialistische Politik, 104(1998) S.28-31

3.7 Nicht-energetischer Verbrauch und Speicher-, Transport- und Verteilungsverluste

Neben den vier Endenergiesektoren gibt es noch zwei weitere energienutzende Bereiche, die auch nicht dem Umwandlungssektor zugerechnet werden können: diejenigen Energiemengen, die zur Herstellung von Produkten und Werkstoffen auf Basis fossiler Energien erforderlich sind sowie jene, die zum Transport, zur Verteilung und Speicherung leitungsgebundener Energien benötigt werden. Der nicht-energetische Verbrauch hat einen Anteil am Primärenergiebedarf von rd. 7,5 % und die Transport-, Verteilungs- und Speicherverluste einen Anteil von rund 1 %. Auch wenn dies nur kleinere Anteile sind, sollten sie in einer Analyse zu den kostengünstigen Potenzialen der CO_2-Minderung nicht ungeprüft sein. Besonders bei den Produkten des nicht-energetischen Verbrauchs geht es als Materialnachfrage um eine energiebedarfsbestimmende Größe, die bei der Herstellung über die gesamte Energiekette Einfluss nimmt und bei mobiler Nutzung auch im Lebenszyklus von Bedeutung sein kann (siehe auch Kap. 3.6).

3.7.1 Maßnahmen im Bereich des nicht-energetischen Verbrauchs (Fraunhofer ISI)

Der *nicht-energetische Verbrauch* fossiler Rohstoffe dient im wesentlichen der Herstellung von Kunststoffen, Chemiefasern, Erzeugnissen von Synthesekautschuk, Farben, Lacken, Tensiden, Schmierstoffen, Bitumen und Folgeprodukten. Insgesamt stagnierte der nicht-energetische Verbrauch in den letzten fünf Jahren bei knapp 1 100 PJ (Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 2002); dies entspricht der Summe aller stofflich verwendeten fossilen Energieträger ohne jenen Energiebedarf, der für den Prozessenergiebedarf zur Herstellung der Grundstoffe und Zwischenprodukte benötigt wird. In CO_2-Äquivalenten hat der nicht-energetische Verbrauch bei den heutigen Mengen ein Emissionspotenzial, das von seinen kohlenwasserstoffhaltigen Produkten ausgehen könnte, von etwa 78 Mio. t CO_2-Äquiv. Allerdings wird davon ein größerer Teil wegen langer Lebens- und Nutzungszeiten (z. B. Komponenten im Bau, Möbel, Teppichböden), wegen der dadurch stark verzögerten Rückführung in den Wertstoffkreislauf durch thermische Nutzung sowie infolge langsamer Verwitterungs- und mikrobiologischer Abbauprozesse (z.B. in Deponien) mit deutlicher Zeitverzögerung von Jahren bis Jahrzehnten erst freigesetzt (Gielen 1999). Außerdem wird ein zunehmender Teil petrochemisch basierter Werkstoffe infolge von Recycling und Wiederverwendung nicht emittiert, sondern einem neuen oder dem gleichen Nutzungskreislauf zugeführt (z. B. Straßenasphalt zu sehr hohen Anteilen).

Im Referenz-Szenario wird davon ausgegangen, dass die Zahlen zum nicht-energetischen Verbrauch nur noch geringfügig von 1 096 PJ im Jahr 2000 auf 1 300 PJ im Jahr 2030 zunehmen (vgl. Tabelle 3.7-1). Dabei wird für den Bereich der Kunststoffproduktion mit höheren Wachstumsraten gerechnet; allerdings wird angenommen, dass die hierzu erforderlichen zusätzlichen Mengen organischer Grundstoffe im Ausland (hierbei in zunehmendem Maße seitens der öl- und erdgasproduzierenden Länder) hergestellt werden.

Tabelle 3.7-1 Referenz-Entwicklung des nicht-energetischen Verbrauchs und seiner produktionsbedingten CO_2-Emissionen, 1995-2030

	1995	2000	2010	2020	2030
Energiebedarf (als nicht-energetischer Verbrauch) in PJ	960	1096	1200	1250	1300
Zuwachs in %/a			1,8	0,82	0,79
CO_2-Emissionen (Produktionsbedingt)[1] in Mio. t CO_2	52	57	60	60	60
CO_2-Emissionen durch Recycling und Verbrennung von Kunststoffe u.ä. in Mio. t CO_2	5,3	7	10	12	15

[1)] Energie- und CO_2-Mengen im IKARUS-Modell in Raffinerien und Grundchemie enthalten

Deshalb steigen die Bedarfszahlen des nicht-energetischen Bedarfs lediglich um 19% bis 2030 gegenüber 2000 an (Zuwachs im Durchschnitt: 0,6%/a), während die CO_2-Emissionen ab 2010 auf dem Stand von 60 Mio. t CO_2 stagnieren. Die Verbesserung der spezifischen Emissionen und jährlich etwa 0,4% ist sowohl durch leichte Anteilsgewinne des Erdgases als auch durch effizientere Verfahren bedingt.

Bisher in den Zahlen der Abfallverbrennung und der übrigen Industrie verborgen ist die Entwicklung der CO_2-Emissionen infolge der zunehmenden Verbrennung von Altkunststoffen bzw. des Energieaufwandes für Recycling, die sich zwischen 2000 und 2030 trotz verbesserter Recycling-Anteile mehr als verdoppeln dürften (Referenz-Szenario).

Zu diesem unmittelbar dem nicht-energetischen Energieverbrauch zuzuordnenden Emissionspotenzial sind jene realen Treibhausgasemissionen zu betrachten, die durch den Prozessener-

giebedarf der Erzeugung und bei der Abfallbewirtschaftung (insbesondere bei der Verbrennung) entstehen. Diese Emissionsmengen wurden unter den Produktionsbedingungen von 1995 (d.h. bei einem nicht-energetischen Verbrauch von 960 PJ) auf 52 Mio. t CO_2 für die Herstellungsstufen bis zu den Endprodukten und auf weitere 5,3 Mio. t für das Recycling und die thermische Verbrennung geschätzt (Patel u. a. 2000). Diese CO_2-Emissionen dürften im Jahre 2000 wegen gestiegener Produktion und zusätzlicher Verbrennung von Kunststoffabfällen bei mindestens 64 Mio. t CO_2 gelegen haben. Für die thermische Verbrennung von Produkten des nicht-energetischen Verbrauchs werden originäre fossile Brennstoffe eingespart; typische Einsatzbereiche sind die Abfallverbrennung (2000 etwa 0,3 Mio. t), die Nutzung in Zementöfen (2001 etwa 0,3 Mio. t, insbesondere Reifen mit 0,24 Mio. t) und in Hochöfen (2001 etwa 0,15 Mio. t Kunststoffe, vgl. Schön u. a. 2003).

Kurzfristig, d.h. zwischen 2005 und 2010 wird das maximal *erreichbare Energieeinsparpotenzial mit 250 PJ bzw. mit 16 Mio. t CO_2* angegeben (Patel u. a. 2000), wobei diese Einsparungen nicht alle in Deutschland erzielt würden, sondern teilweise auch in den Vorketten der Grundstoff-Produktion im Ausland (z.B. in den Raffinerien und petrochemischen Anlagen in Belgien und in den Niederlanden). Bezogen auf die Gesamtemissionen Deutschlands ist dieses Reduktionspotenzial mit 1,8 % durchaus nicht vernachlässigbar, zumal es längerfristig durch verschiedene technische Maßnahmen weiter vergrößert werden könnte (vgl. Kapitel 5.7.1):

- *vermehrte Verwendung biogener Rohstoffe*; bereits realisierte Beispiele sind natürliche Öle und Fette zur Herstellung von Tensiden, die Verwendung von Flachs und Jute als Substitut für petrochemisch basierte Fasern oder die Verwendung von Stärke für biologisch abbaubare Produkte;

- *intensiviertes Recycling von Kunststoffen oder Wiederverwendung der Endprodukte* (insbesondere bei Polymeren), eventuell auch mit einer Werkstoffnutzung auf absinkender Qualitätsebene, bzw. back to monomer-Verfahren; dabei ist zu differenzieren zwischen dem werkstofflichen Recycling, das zu Produkten führt, bei denen Neukunststoffe ersetzt werden, und anderen Erzeugnissen, die üblicherweise aus Holz, Beton oder Stahl hergestellt werden (Patel u.a., 1998). Im zweiten Fall hängt das mögliche Emissionsminderungspotenzial in hohem Maße von der spezifischen Situation ab.

- *spezifisch geringeren Einsatz des jeweils verwendeten Materials* bei gleicher Funktionalität des Produktes (s.o. als allgemeinere Strategie der Werkstoffeffizienz, vgl. Kapitel 3.6).

Dabei gilt zu beachten, dass bei einem Teil der Produkte auf petrochemischer Basis die Produktionsmengen noch deutlich zunehmen könnten und infolge der Langlebigkeit und langer Nutzungsdauer vieler Kunststoff- und Bitumenprodukte das Abfallaufkommen in Zukunft noch erheblich steigen könnte. So dürften die Kunststoffabfälle von etwa 4,6 Mio. t im Jahre 1995 nach Analysen von Patel u.a. (2000) auf etwa 8 bis 9 Mio. t bis 2010 sich verdoppeln und auf 13 bis 15 Mio. t in 2030 zunehmen. Dagegen kann beim Bitumen davon ausgegangen werden, dass sich Bedarf und Abfallanfall im Straßen- und Industriebau in etwa ausgleichen und ein stationäres Recycling in Zukunft erreichbar sein dürfte.

Überblick über die Maßnahmen

Die relevanten, bereits ergriffenen oder geplanten politischen Maßnahmen orientieren sich im wesentlichen an Perspektiven der Kreislaufwirtschaft und der Nachhaltigkeit (umweltfreundliche Produkte und Verfahren); hierzu gehören die bereits in Kapitel 3.6 erwähnten Verordnungen aus jüngerer Zeit (Altfahrzeug-Gesetz, Novelle AltölVO und GewerbeabfallVO, AltholzVO, vgl. Übersicht 3.6-1). Die Vorschriften von Mindestwiederverwertungsquoten sind aus energetischer Sicht nicht unproblematisch, da sie Leichtbauweisen z.B. von Pkw erschweren können (Hayde, Nürrenbach 1999). Derzeit gibt es neben der Strategie der Materialeffizienz zwei konkurrierende Möglichkeiten des stofflichen Recyclings und der thermischen Nutzung von Kunststoffabfällen, insbesondere in Müllverbrennungsanlagen, die heute zum überwiegenden Anteil nicht sehr effizient arbeiten gemessen an gasgefeuerten Anlagen und damit zu Mehremissionen führen (Patel u.a. 2000). Die Recyclingquoten sind beim Straßenbaubitumen bereits heute weitgehend ausgeschöpft, während die Verwertung von Industriebitumen bisher kaum stattfindet.

Quantifizierung der Maßnahmen

Die in der Referenz-Entwicklung bereits enthaltenen CO_2-Minderungen setzen sich etwa wie folgt zusammen: bei den Kunststoffen mit einer unterstellten Recyclingquote von 20 % bis 2010 ergibt sich eine Einsparung von 63 PJ nicht-energetischer Verbrauch (entsprechend 1,6 Mio. t CO_2) und bis 2030 ein Minderbedarf von 115 PJ (entsprechend 3 Mio. t CO_2). Bei Bitumen sind die Werte der Referenzentwicklung mit knapp 5 PJ eher relativ gering (Schön

2003). Für die verbesserte Materialeffizienz bei Kunststoffnutzungen wird ein technischer Fortschritt von 0,5 %/a in der Referenzentwicklung unterstellt (entsprechend 55 PJ oder 1,5 Mio. t CO_2). Die durch die Abfallverbrennung induzierten CO_2-Emissionen werden hier nicht berücksichtigt, weil sie in den entsprechenden Industriesektoren bzw. im Umwandlungssektor behandelt sind. Die Re-Substitution von Kunststoffen durch biogene Rohstoffe wird bis 2010 im Referenz-Szenario als sehr gering eingeschätzt.

Insgesamt kommt die Analyse zu dem Ergebnis, dass die in der Referenzentwicklung durch bestehende und geplante Maßnahmen zwischen 2000 und 2010 erreichbaren Minderungen von CO_2-Emissionen etwa 5 Mio. t CO_2 betragen. Diese Mengen dürften sich bis 2030 infolge des erhöhten Kraftstoffaufkommens und der Wirksamkeit des Altfahrzeuggesetzes und der GewerbefallVO auf etwa 10 Mio. t CO_2 verdoppeln.

Literatur zu Kapitel 3.7.1

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (2002): Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990 bis 2001. DIW Berlin.

Heyde, M.; Nürrenbach, T. (1999): Kunststoffeinsatz im Automobilbau –Abschätzung zu Auswirkungen auf den Primärenergiebedarf und klimarelevante Emissionen, Fraunhofer-Institut, Freising

Gielen, D. J. (1999): Materialising Dematerialisation. PhD Thesis, Delft Univ. of Technology, Delft, The Netherlands

Patel, M.; E. Jochem; F. Marscheider-Weidemann; P. Radgen; N. Thienen (1999): C-STRÖME, Abschätzung der Material-, Energie- und CO2-Ströme für Modellsysteme im Zusammenhang mit dem nichtenergetischen Verbrauch, orientiert am Lebensweg – Stand und Szenarienbetrachtung, Band I: Abschätzungen für das Gesamtsystem. FhG-ISI, Karlsruhe, Oktober

Patel, M.; E. Jochem; P. Radgen; E. Worell (1998): Plastic streams in Germany – an Analysis of Production, Consumption and Waste Generation. In: Resource, Conservation and Recycling 24/1998

Patel, M.; W. Eichhammer; E. Jochem (1998): Process Data for 50 Chemical Intermediates. ISI Bericht Karlsruhe

Patel, M., Jochem, E., Marscheider-Weidemann, F., Radgen, P., v. Thienen, N. (2000): CO2 - Minderung durch Kreislaufwirtschaft und Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen - Eine Systemanalyse für den Chemiesektor. ISI-Bericht Karlsruhe.

Schön, M., Angerer, G., Eichhammer, W., Jochem, E., Wietschel, M. (2003): Systemanalyse zu den Kreislaufpotenzialen energieintensiver Werkstoffe und ihr Beitrag zur rationellen Energienutzung zwischen 1970 und 2030 in Deutschland. ISI-Bericht Karlsruhe

3.7.2 **Fackel-, Transport- und Verteilungsverluste** (DIW Berlin)

Verluste treten bei allen Energieträgern auf; sie werden jedoch meist statistisch nicht erfasst und in der Energiebilanz nicht einheitlich behandelt. Lediglich für die leitungsgebundenen Energieträger, also für die Gase (Kokerei-/Stadtgas, Gicht-/Konvertergas, Erdgas/Erdölgas, Grubengas und Klärgas) sowie für Strom und Fernwärme werden sie in der entsprechenden Energiebilanzzeile ausgewiesen. Die Verluste im Mineralölsektor sind als Differenz zwischen Umwandlungseinsatz und -ausstoß indirekt in der Bilanz enthalten. Verluste bei den übrigen Energieträgern gehen in die Zeile „Statistische Differenzen“ ein, sind dort aber nicht zu isolieren. Insoweit ergibt sich kein komplettes Bild. Auf der Grundlage der vorliegenden Energiebilanzen lässt sich die in Tabelle 3.7-2 dargestellte deren Entwicklung für die Jahre von 1990 bis 1999 nachzeichnen.

Tabelle 3.7-2 Fackel- und Leitungsverluste in Deutschland von 1990 bis 1999

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
	Fackel- u. Leitungsverluste in Petajoule									
Kokerei-/Stadtgas	8,6	1,9	0,7	0,5	0,2	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0
Gicht-/Konvertergas	9,9	13,0	12,8	10,3	10,7	19,0	14,4	14,3	8,9	10,1
Erdgas/Erdölgas	24,6	20,1	13,9	12,6	22,8	18,7	17,0	13,7	17,0	19,5
Grubengas	1,1	1,3	2,4	2,8	2,7	3,0	3,6	4,1	2,3	4,0
Klärgas	2,5	2,1	2,1	2,0	1,9	2,1	2,4	2,6	2,8	3,0
Strom	83,7	78,2	74,8	76,7	74,3	82,4	73,6	72,3	76,2	74,0
Fernwärme	49,6	42,9	39,0	42,1	37,4	41,1	36,2	42,1	45,0	41,6
Summe	179,9	159,5	145,8	147,0	150,0	166,6	147,2	149,1	152,3	152,2
	Fackel- u. Leitungsverluste im Verhältnis zum Umwandlungsausstoß bzw. zum Primärenergieverbrauch in %									
Kokerei-/Stadtgas[1)]	2,8	0,8	0,4	0,4	0,2	0,2	0,1	0,0	0,1	0,0
Gicht-/Konvertergas[1)]	5,5	7,6	7,8	6,7	6,3	10,5	8,7	7,9	5,0	6,2
Erdgas/Erdölgas[2)]	1,1	0,8	0,6	0,5	0,9	0,7	0,5	0,5	0,6	0,6
Grubengas[2)]	10,7	11,4	18,2	20,8	20,1	22,7	27,0	29,9	19,4	33,6
Klärgas[2)]	17,8	17,7	17,2	16,1	15,8	15,4	15,3	15,8	16,9	17,5
Strom[1)]	4,2	4,0	3,9	4,1	3,9	4,3	3,7	3,6	3,8	3,7
Fernwärme[1)]	11,1	10,0	9,6	10,3	9,5	9,9	9,3	11,7	12,3	12,3
Summe[2)]	1,2	1,1	1,0	1,0	1,1	1,2	1,0	1,0	1,0	1,1

Abweichungen in den Summen durch Rundungen.

[1)] Bezogen auf den jeweiligen Umwandlungsausstoß.- [2)] Bezogen auf den jeweiligen Primärenergieverbrauch.

Quellen: AG Energiebilanzen; Berechnungen des DIW Berlin

Danach haben sich die gesamten, statistisch erfassten Verluste – sieht man von dem höheren Wert im Jahre 1990 ab – in den neunziger Jahren nur wenig verändert; sie bewegen sich zusammengenommen etwa in einer Größenordnung von 150 PJ, das ist rund ein Prozent des

Primärenergieverbrauchs in Deutschland. Bei den Einzelnen Energieträgern fallen die Verluste in unterschiedlichem Ausmaß ins Gewicht: Absolut spielen sie Verluste beim Kokerei-/Stadtgas, beim Klärgas und beim Grubengas nur eine sehr untergeordnete Rolle; quantitativ bedeutsamer sind dagegen die Verluste beim Strom, bei der Fernwärme sowie beim Erdgas/Erdölgas und beim Gicht-/Konvertergas. Allerdings sind die relativen Verluste beim Erdgas/Erdölgas mit zuletzt lediglich 0,6 % äußerst gering, und beim Strom zeigen sie eine leicht rückläufige Tendenz.

Alles in Allem kommt den erfassten Verlusten keine wesentliche Rolle zu. Gleichwohl sind einige dieser Energieträger unmittelbarer Gegenstand von klimaschutzpolitischen Maßnahmen der Bundesregierung; etwa im Zusammenhang mit dem EEG und der Biomasse-Verordnung (hinsichtlich Deponie-, Gruben- und Klärgas), mit der Verminderung der Methanverluste bei der Gewinnung und dem Transport von Erdgas sowie der verstärkten Grubengasnutzung im Rahmen der Selbstverpflichtung des deutschen Steinkohlenbergbaus. Einzelheiten dazu und zur Schätzung der mit diesen Maßnahmen bewirkten Emissionsminderungen sind dem Kapitel 3.11 zu entnehmen.

Verstärkte Anstrengungen sollten dagegen noch im Bereich von Transport und Verteilung von Fernwärme möglich sein, wo die Verlustrate in den neunziger Jahren immerhin in einer Größenordnung von 10 bis 12 % der Fernwärmeerzeugung lag. Der verstärkte Ausbau von Nahwärmesystemen könnte hierzu vermutlich einen Beitrag leisten.

In der Stromwirtschaft erscheint dagegen eine weitere, signifikante Senkung der Transport- und Verteilungsverluste als wenig aussichtsreich.

3.8 **Energiesektor** (DIW-Berlin)

3.8.1 Ausgangslage

Der Energiesektor umfasst in den Energiebilanzen die Bereiche Kokereien, Stein- und Braunkohlenbrikettfabriken, Öffentliche Wärmekraftwerke (ohne Heizkraftwerke), Industriewärmekraftwerke, Kernkraftwerke, Wasserkraftwerke, Wind- und PV-Anlagen, Öffentliche Heizkraftwerke, Fernheizwerke, Hochöfen, Raffinerien sowie sonstige Energieerzeuger. Abgesehen von den Raffinerien, bei denen die Energieumwandlung im wesentlichen die (fast verlustfreie) stoffliche Transformation betrifft, haben die stromerzeugenden Sektoren innerhalb dieses sehr heterogenen Sektors mit Blick auf den Energieeinsatz die mit weitem Abstand größte Bedeutung. Am gesamten Umwandlungseinsatz sind sie mit rund 46 % beteiligt; der Anteil am Umwandlungsausstoß beträgt dagegen lediglich ein Viertel (Tabelle 3.8-1).

Tabelle 3.8-1 Energieeinsatz und -ausstoß in den Umwandlungssektoren in Deutschland im Jahre 1999
(ohne Verbrauch und Verluste im Umwandlungssektor)

	Umwandlungseinsatz		Umwandlungsausstoß	
	Petajoule	%	Petajoule	%
Kokereien	333	2,9	345	4,3
Stein- und Braunkohlenbrikettfabriken	114	1,0	111	1,4
Stromerzeugung	5198	45,9	1985	24,6
Öffentliche Wärmekraftwerke (ohne HKW)	2766	24,4	1095	13,6
Industriewärmekraftwerke	467	4,1	194	2,4
Kernkraftwerke	1855	16,4	612	7,6
Wasserkraftwerke, Wind- und PV-Anlagen	110	1,0	84	1,0
Öffentliche Heizkraftwerke	281	2,5	282	3,5
Fernheizwerke	76	0,7	58	0,7
Hochöfen	149	1,3	162	2,0
Raffinerien	4932	43,6	4903	60,8
Sonstige Energieerzeuger	237	2,1	222	2,7
Umwandlungssektor insgesamt	11319	100,0	8067	100,0

Quelle: AG Energiebilanzen.

Die Bedeutung der Stromerzeugung wird auch und gerade unter Emissionsgesichtspunkten deutlich. Nach Angaben im Nationalen Inventarbericht 2003 und den dazu im Common Reporting Format (CRF) gelieferten Emissionsdaten entfielen im Jahre 2001 rund 37 % der gesamten energiebedingten CO_2-Emissionen auf den Bereich „Öffentliche Strom- und Wärmeerzeugung“, während der Anteil der übrigen Energiesektoren zusammen weniger als 4 % betrug. Ähnliche Relationen ergeben sich auch aus den auf den Energiebilanzen basierenden Be-

rechnungen der sektoralen Emissionsdaten seitens des Umweltbundesamtes und des DIW Berlin (Tabelle 3.8-2).[86] Daher konzentriert sich die folgende Darstellung auf dieses Segment.

Tabelle 3.8-2 Entwicklung der Kohlendioxidemissionen im Energiesektor in Deutschland von 1990 bis 2002 nach Sektoren

	1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000*	2001*	2002*
	(a) CO_2-Emissionen in der Gliederung des Nationalen Emissionsinventars (Stand: April 2003) in Mio. t								
Energiesektor	412,9	351,9	357,5	339,5	341,3	327,9	340,0	345,3	noch keine Angaben verfügbar
Öffentl. Strom- und Wärmeerzeugung	346,0	309,2	321,8	305,9	310,9	300,3	310,5	315,6	
Mineralölraffinerien	19,5	19,9	20,9	20,1	20,9	19,7	19,9	20,0	
Übriger Energiesektor	47,4	22,7	14,8	13,5	9,5	7,9	9,6	9,8	
Summe energiebedingte CO_2-Emissionen	986,8	872,4	896,4	864,5	855,7	828,7	831,8	846,4	
	Anteile an den gesamten energiebedingten CO_2-Emissionen in %								
Energiesektor	41,8	40,3	39,9	39,3	39,9	39,6	40,9	40,8	noch keine Angaben verfügbar
Öffentl. Strom- und Wärmeerzeugung	35,1	35,4	35,9	35,4	36,3	36,2	37,3	37,3	
Mineralölraffinerien	2,0	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	
Übriger Energiesektor	4,8	2,6	1,6	1,6	1,1	1,0	1,2	1,2	
	(b) CO_2-Emissionen in der Gliederung der deutschen Energiebilanzen in Mio. t								
Energiesektor	439,2	377,7	380,3	361,6	365,1	350,6	361,1	369,1	373,0
Kraftwerke	353,8	319,7	321,3	309,3	313,1	303,1	309,5	316,9	322,0
Heizkraft-/Heizwerke	43,0	29,3	30,3	25,8	25,6	23,6	27,1	28,5	27,6
Übrige Umwandlung	42,4	28,7	28,7	26,5	26,4	23,9	24,5	23,7	23,4
Summe energiebedingte CO_2-Emissionen	986,8	872,4	896,4	864,5	855,7	828,7	830,7	849,1	833,6
	Anteile an den gesamten energiebedingten CO_2-Emissionen in %								
Energiesektor	44,5	43,3	42,4	41,8	42,7	42,3	43,5	43,5	44,7
Kraftwerke	35,9	36,6	35,8	35,8	36,6	36,6	37,3	37,3	38,6
Heizkraft-/Heizwerke	4,4	3,4	3,4	3,0	3,0	2,9	3,3	3,4	3,3
Übrige Umwandlung	4,3	3,3	3,2	3,1	3,1	2,9	3,0	2,8	2,8

*) Vorläufige Angaben.

Quellen: Umweltbundesamt; AG Energiebilanzen; Berechnungen des DIW Berlin.

[86] Zu beachten ist, dass die sektorale Gliederung nach dem Common Reporting Format (CRF) abweicht von derjenigen der deutschen Energiebilanzen. Quantitativ ins Gewicht fällt vor allem die unterschiedliche Zuordnung der CO_2-Emissionen aus der industriellen Kraftwirtschaft: Während diese beim CRF vollständig der Industrie zugerechnet werden, sind sie nach der Systematik der deutschen Energiebilanzen im Umwandlungsbereich, also im Energiesektor, zu verbuchen.

Erwähnt sei, dass die Bereiche der Kraft-Wärme-Kopplung in der allgemeinen Versorgung (Siedlungs-KWK) und in der Industrie (industrielle KWK) im Detail in eigenen Abschnitten behandelt werden.

Die Bruttostromerzeugung hat sich in Deutschland in den neunziger Jahren nur wenig erhöht; im Jahresdurchschnitt ist sie von 1990 bis 2002 lediglich um 0,5 % gestiegen. Dabei hat sich die Struktur nach Einsatzenergieträgern deutlich gewandelt, und zwar vor allem zu Lasten des Kohleneinsatzes. So ging der Anteil der Steinkohlen an der Stromerzeugung von knapp 28 % im Jahr 1991 auf etwa 23 % im Jahr 2002 zurück, und der Anteil der Braunkohle sank gleichzeitig von etwa 29 % auf wenig mehr als 27 % - mit zuletzt allerdings steigender Tendenz. Dagegen erhöhten sich in dieser Periode die Anteile der Kernenergie von rund 27 % auf gut 28 % und die des Erdgases von weniger als 7 % auf über 9 %. Deutlich war auch der Bedeutungsgewinn der Windkraft mit einem Anteil von beinahe 3 % im Jahr 2002 (Tabelle 3.8-3).

Tabelle 3.8-3 Entwicklung der Stromerzeugung, des Stromverbrauchs sowie des Brennstoffeinsatzes zur Stromerzeugung in Deutschland von 1990 bis 2002

Energieträger	1990	1991	1995	2000*	2001*	2002*	1990	1991	1995	2000*	2001*	2002*
	Bruttostromerzeugung											
	Mrd. kWh						Struktur in %					
Wasserkraft[1)]	19,7	19,2	25,2	27,7	25,6	26,0	3,6	3,6	4,7	4,8	4,4	4,5
dar.: regenerativ	16,5	15,9	21,6	25,5	23,5	23,9	3,0	2,9	4,0	4,5	4,0	4,1
Kernenergie	152,5	147,4	154,1	169,6	171,2	164,8	27,7	27,3	28,7	29,6	29,4	28,4
Steinkohle		149,8	147,1	143,1	138,4	135,0		27,7	27,4	25,0	23,8	23,2
Braunkohle		158,3	142,6	148,3	154,8	159,0		29,3	26,6	25,9	26,6	27,4
Erdgas	377,7	36,3	41,1	49,2	55,5	54,0	68,7	6,7	7,7	8,6	9,5	9,3
Heizöl		14,8	9,1	5,2	6,1	6,0		2,7	1,7	0,9	1,0	1,0
Übrige		14,3	16,1	20,8	19,7	19,4		2,6	3,0	3,6	3,4	3,3
Windenergie	0,0	0,1	1,5	9,5	10,5	16,8		0,0	0,3	1,7	1,8	2,9
Summe Brutto-stromerzeugung	549,9	540,2	536,8	573,4	581,8	581,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Export-/Import-saldo	0,8	-0,6	4,8	3,0	2,7	0,7						
Bruttostromverbrauch	550,7	539,6	541,6	576,4	584,5	581,7						
	Brennstoffeinsatz zur Stromerzeugung											
	Petajoule						Struktur in %					
Steinkohle	1270	1354	1332	1269	1231	1199	23,4	25,4	25,9	24,1	22,9	22,3
Braunkohlen	1795	1678	1455	1424	1506	1565	33,1	31,5	28,3	27,1	28,0	29,1
Übr. feste Brennstoffe	65	63	70	85	88	91	1,2	1,2	1,4	1,6	1,6	1,7
Heizöl	109	125	72	38	41	64	2,0	2,3	1,4	0,7	0,8	1,2
Gase	435	416	433	472	498	489	8,0	7,8	8,4	9,0	9,3	9,1
dar.: Erdgas	332	322	341	357	397	393	6,1	6,0	6,6	6,8	7,4	7,3
Wasser-/Windkraft	89	85	105	126	138	167	1,6	1,6	2,0	2,4	2,6	3,1
Kernenergie	1663	1608	1681	1849	1867	1799	30,6	30,2	32,7	35,1	34,8	33,5
Insgesamt	5426	5329	5148	5263	5369	5374	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

1) Einschließlich Pumpspeicher. *) Vorläufige Angaben.

Quellen: AG Energiebilanzen; BMWi; VDEW; DEBRIV; Statistik der Kohlenwirtschaft; Berechnungen des DIW Berlin.

In der Struktur der Stromerzeugung spiegelt sich auch jene des Energieeinsatzes: Anteilsverlusten der Stein- und Braunkohlen standen Anteilsgewinne vornehmlich der Kernenergie gegenüber. Der Anteilsgewinn von Erdgas blieb dagegen begrenzt.

Insgesamt war der Energieeinsatz zur Stromerzeugung 2002 trotz einer um knapp 6 % höheren Erzeugung um rund 1 % niedriger als 1990. Dies bedeutet eine Erhöhung des mittleren Stromerzeugungsnutzungsgrades von 36,5 % (1990) auf rund 39 % (2002). Im Durchschnitt der fossil gefeuerten Kraftwerke verbesserte sich der Nutzungsgrad von 37 % im Jahr 1990 auf reichlich 39 % zwölf Jahre später (Tabelle 3.8-4).

Tabelle 3.8-4 Stromerzeugung: Spezifischer Brennstoffeinsatz und Gesamtnutzungsgrad von 1990 bis 2002

	Einheit	1990	1991	1995	1996	1997	1998	1999	2000*	2001*	2002*
Fossile Kraftwerke	MJ/kWh	9,7	9,7	9,4	9,3	9,2	9,1	9,1	9,0	9,0	9,1
	%	37,0	37,0	38,1	38,8	39,1	39,6	39,7	40,1	40,1	39,4
Kernkraftwerke[1)]	MJ/kWh	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9
	%	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0
Wasser, Wind[2)]	MJ/kWh	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Alle Kraftwerke	MJ/kWh	9,9	9,9	9,6	9,5	9,5	9,4	9,3	9,2	9,2	9,2
	%	36,5	36,5	37,5	37,8	37,9	38,4	38,5	39,2	39,0	39,2

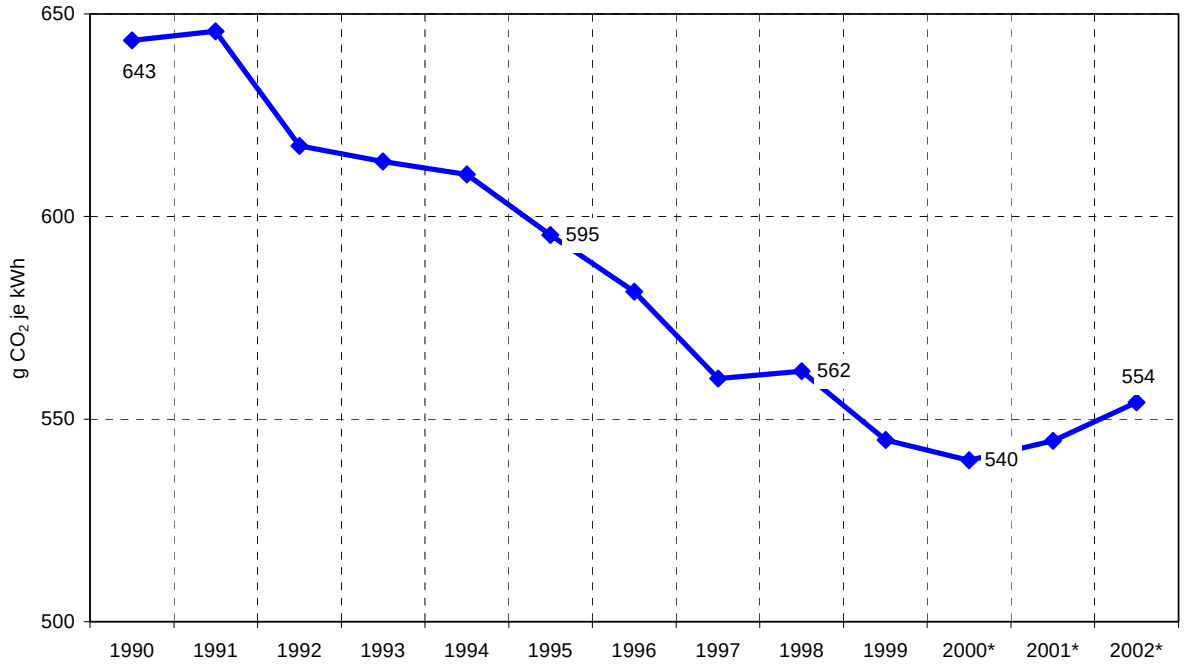
*) Vorläufige Angaben.

[1)] Der Kernenergiestrom wird entsprechend international üblichem Vorgehen mit einem angenommenen Wirkungsgrad von 33 % bewertet.- [2)] Die regenerativ erzeugte Wasserkraft wie die Windstromerzeugung werden entsprechend international üblichem Vorgehen mit einem angenommenem impliziten Wirkungsgrad von 100 % bewertet.

Quellen: BMWi; VDEW; DEBRIV; Statistik der Kohlenwirtschaft; Berechnungen des DIW Berlin.

Deutlich verringert haben sich die spezifischen CO_2-Emissionen durch die Stromerzeugung: Während die Stromerzeugung im Jahre 2002 um rund 6 % höher war als 1990, gingen die CO_2-Emissionen in dieser Periode um 9 % zurück. Die spezifischen CO_2-Emissionen, also die Emissionen je erzeugter Kilowattstunde (brutto), sanken daher im Mittel des Kraftwerksparks um 14 %, und zwar von 643 g CO_2/kWh auf etwa 554 g CO_2/kWh; im Vergleich zu 2000, als sie noch 540 g CO_2/kWh betragen hatten, ist jedoch ein leichter Anstieg zu verzeichnen (Abbildung 3.8-1). Hauptgründe für die längerfristige Tendenz waren die zuvor skizzierte deutliche strukturelle Veränderung der eingesetzten Energieträger sowie die verbesserten Stromerzeugungsnutzungsgrade; die Steigerung nach 2000 ist mit der überdurchschnittlich starken Zunahme der Braunkohlenverstromung zu erklären.

Abbildung 3.8-1 Spezifische CO_2-Emissionen der Stromerzeugung von 1990 bis 2002
- CO_2-Emissionen je kWh Bruttostromerzeugung –



Quellen: Statistisches Bundesamt; Umweltbundesamt; AG Energiebilanzen; Statistik der Kohlenwirtschaft e.V.; Berechnungen des DIW Berlin.

*) Vorläufige

3.8.2 Die bisherigen klimaschutzpolitischen Maßnahmen für den Energiesektor

Energie- und klimaschutzpolitische Maßnahmen mit unmittelbarem Bezug auf den Energiesektor waren in der Vergangenheit vergleichsweise begrenzt. Die im Dritten Nationalbericht genannten Maßnahmen sind in Übersicht 3.8-1 aufgelistet. Danach betreffen die meisten Maßnahmen die (in Abschnitt 3.9 behandelten) erneuerbaren Energiequellen und die Kraft-Wärme-Kopplung (vgl. Abschnitte 3.2 und 3.3 zur KWK in Industrie und GHD-Sektor und 3.9 zur Siedlungs-KWK). In diesem Zusammenhang ist auch die vom Bundeskabinett am 28.05.03 beschlossene und vom Bundestag am 03.07.2003 bestätigte 13. BImSchV (Großfeuerungsanlagen-Verordnung) zu nennen, die im § 7 eine Prüfpflicht zur Anwendung der KWK vorsieht[87]. Eine Bewertung der Wirkung dieser Bestimmung ist gegenwärtig allerdings noch

[87] In der 13. BimSchV § 7 Kraft-Wärme-Kopplung heißt es: „Bei der Errichtung oder der wesentlichen Änderung oder der Erweiterung einer Anlage hat der Betreiber zu prüfen, ob Maßnahmen zur Kraft-Wärme-Kopplung technisch möglich und unter Berücksichtigung von Aufwand und Nutzen verhältnismäßig sind. Liegen die Voraussetzungen nach Satz 1 vor, hat er die Maßnahmen durchzuführen. Liegen die Voraussetzungen nach Satz 1 nicht vor, hat er der zuständigen Behörde einen Bericht vorzulegen.“

nicht möglich, zumal diese Verordnung (Stand Ende 2003) noch nicht in Kraft getreten und offen ist, wie die im Bundesrat diskutierte Änderungsempfehlung zu § 7 letztlich formuliert sein wird.

Weitere Maßnahmen beziehen sich auf die Verminderung von Methanverlusten bei Gewinnung und Transport von Erdgas und auf die Verminderungen der Treibhausgasemissionen, die sich mit einer verstärkten Nutzung von Grubengas aus der Steinkohlenförderung ergeben könnten. Einen neueren Impuls hat diese Maßnahme dadurch erhalten, dass der Gesamtverband des deutschen Steinkohlenbergbaus mit Datum vom 23. Juli 2002 der Klimavorsorgevereinbarung beigetreten ist. Wesentliche Eckpunkte der Beitrittserklärung des deutschen Steinkohlenbergbaus sind (GVSt 2002):

- Der Steinkohlenbergbau in Deutschland wird die CO_2-Emissionen aus seinem produktionsbezogenen Energieverbrauch, auf Basis absoluter Größen berechnet, bis zum Jahr 2005 um 70 % und bis zum Jahr 2012 um 75 % vermindern (jeweils bezogen auf 1990).
- Der deutsche Steinkohlenbergbau wird seine Anstrengungen zur Minderung der spezifischen Emissionen fortsetzen. In spezifischer Rechnung sind die CO_2-Emissionen seit 1990 um rd. 23 % gesunken.
- Der deutsche Steinkohlenbergbau sagt weiter zu, die in die Atmosphäre abgegebenen Methan-Emissionen (CH_4, gemessen als CO_2-Äquivalent) aus aktiven und stillgelegten Bergwerken bis zum Jahr 2012, auf Basis absoluter Größen berechnet, um 70 % zu vermindern (bezogen auf das Basisjahr 1990).

Zur Entwicklung der Nicht-CO_2-Treibhausgasemissionen vgl. Abschnitt 3.11.1.

Außerhalb der genannten Bereiche ist für den Sektor der Stromerzeugung lediglich der „Zubau von Erdgas-GuD-Kraftwerken“ bedeutsam. Dabei handelt es sich freilich um ein Vorhaben, das im Grunde in ausschließlicher Regie der Elektrizitätswirtschaft autonom durchgeführt wird und insofern nicht unmittelbar dem klimaschutzpolitischen Handlungsfeld der Bundesregierung zugeschrieben werden kann. Allerdings sind indirekte Auswirkungen, einerseits der im Jahre 1998 umgesetzten Liberalisierung der Energiemärkte, andererseits des am 27. April 2004 in Kraft getretenen „Gesetz(es) zur geordneten Beendigung der Kernenergienutzung zur gewerblichen Erzeugung von Elektrizität“ nicht zu übersehen. Insbesondere die Liberalisierung dürfte strukturelle Änderungen des Kraftwerksparks in Richtung von Erdgas-GuD-Anlagen bewirken, wenn auch die gegenwärtigen Energieträgerpreisrelationen die wirtschaftliche Position dieser Anlagen nicht begünstigen. Als Folge der - wenn auch nicht aus

klimaschutzpolitischen Gründen beschlossenen - Beendigung der Kernenergienutzung und des bis Mitte der zwanziger Jahre beträchtlichen Ersatzinvestitionsbedarfs von möglicherweise bis zu 50 GW wird sich für diese Anlagen ein breites Einsatzfeld mit spezifisch emissionsreduzierenden Wirkungen ergeben – freilich vor allem dann, wenn dadurch altersbedingt abgehende Stein- und Braunkohlenkraftwerke ersetzt werden.

Übersicht 3.8-1 Maßnahmen der Bundesregierung im Energiesektor

Name	Beschreibung/Ziel	Umsetzungs-stand	Durch-führende Institution
Energiesektor			
Erneuerbare-Energien-Gesetz, Biomasse-Verordnung, Marktanreizprogramme zugunsten erneuerbarer Energien, FuEuD	Förderung des Einsatzes erneuerbarer Energien bei der Strom- und Wärmeerzeugung. Ziel: Substitution fossiler Energieträger	In Kraft	Bundesregierung
EEG, BiomasseV, Marktanreizprogramme für EE	Förderung des Einsatzes von EE; Substitution von fossilen Energieträgern und Vermeidung der Emission von Methan, insbes. bei der Nutzung von Biomasse, Deponiegas, Klärgas und Grubengas gemäß EEG	In Kraft	Bundesregierung
Erhaltung, Modernisierung und Zubau von Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) (einschließlich kleiner KWK-Anlagen) und der Markteinführung von Brennstoffzellen	Vereinbarung zwischen der Bundesregierung und der deutschen Wirtschaft zur Minderung der CO_2-Emissionen und der Förderung der KWK in Ergänzung zur Klimavereinbarung vom 9.11. 2000 sowie Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz	In Kraft seit 01.04.2002	Bundesregierung
Grubengasnutzung	Verstärkte Nutzung von Grubengas, das bei der Förderung von Steinkohle zwangsläufig anfällt, durch Erhöhung des Anteils des energetisch verwerteten Methans bei der Grubengasabsaugung von 70% auf 78% Ziel: Vermeidung von CH_4-Emissionen, Substitution von fossilen Energieträgern	Wirkend seit 1993	Wirtschaft
Biomasseverordnung	Regelungen zur Art der Biomasse im Sinne des EEG, zu technischen Verfahren der Stromerzeugung aus Biomasse im Sinne des EEG und bezüglich Umweltanforderungen bei der Erzeugung von Strom aus Biomasse Ziel: Substitution von fossilen Energieträgern	In Kraft seit 2001	Bundesregierung
Zubau von Erdgas GuD-Kraftwerken	Modernisierung des Kraftwerksparks Ziel: Erhöhung der Wirkungsgrade von Kraftwerken Substitution von kohlenstoffintensiven Energieträgern durch Energieträger mit einem geringeren Kohlenstoffgehalt	laufendes Vorhaben	Wirtschaft
Verminderung der Methanverluste bei der Gewinnung und dem Transport von Erdgas	Optimierung der technischen Prozesse bei der Gewinnung und dem Transport von Erdgas	laufendes Vorhaben	Wirtschaft

3.8.3 Das Mit-Maßnahmen Szenario für den Energiesektor im Jahre 2010

Nach den Arbeiten für die Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und Liberalisierung“ des 14. Deutschen Bundestages („Enquete-Szenario“, EK) belaufen sich die direkten CO_2-Emissionen des Energiesektors unter den Bedingungen des Referenzszenarios im Jahre 2010 auf 337,6 Mio. t. Dabei ist gegenüber der aktuellen Erwartung, die diesem Bericht zugrunde liegt, ein schwächerer Zuwachs der erneuerbaren Energiequellen und eine langsamere Stilllegung von Kernkraftwerken auf der einen Seite, aber ein etwas kräftigerer Zuwachs der Kraft-Wärme-Kopplung auf der anderen Seite angenommen worden (vgl. Tabelle 3.8-5).

Tabelle 3.8-5 Modifikation des Referenzszenarios der Enquete-Kommission für den Energiesektor im Jahre 2010

	Netto-Engpassleistung				Ausnutzungsdauer				Nettostromerzeugung			
	1990	1998	2010 EK	2010 EK-mod	1990	1998	2010 EK	2010 EK-mod	1990	1998	2010 EK	2010 EK-mod
	GW				h/a				TWh			
Steinkohle	31,2	30,7	24,1	23,6	4193	4556	5455	5427	130,9	140,0	131,6	128,2
Braunkohle	26,2	19,0	21,5	21,3	5815	6725	6808	6809	152,1	127,8	146,3	145,0
Heizöl[1)]	10,0	8,3	2,8	2,8	1052	570	1329	1329	10,5	4,7	3,8	3,8
Erdgas	16,7	20,4	23,3	22,1	2154	2392	2971	2760	35,9	48,8	69,2	61,0
Kernenergie	24,1	22,3	19,7	18,0	5989	6858	7443	7778	144,6	153,0	146,5	140,0
Wasserkraft	8,6	8,9	10,3	10,3	2264	2544	2276	2276	19,5	22,6	23,4	23,4
Wind	0,0	2,7	12,4	21,0	1249	1684	1671	1810	0,1	4,5	20,7	38,0
Photovoltaik	0,0	0,0	0,2	1,0	-	-	933	900	0,0	0,0	0,2	0,9
Andere Brennstoffe	1,7	2,9	3,4	3,8	8856	4542	4540	4407	14,8	13,1	15,3	16,7
Summe	118,5	115,2	117,6	123,9	4288	4468	4735	4494	508,4	514,5	557,0	557,0
	Nutzungsgrad				Brennstoffeinsatz				CO_2-Emissionen			
	1990	1998	2010 EK	2010 EK-mod	1990	1998	2010 EK	2010 EK-mod	1990	1998	2010 EK	2010 EK-mod
	%				PJ				Mio. t CO_2			
Steinkohle	37,1	36,9	41,9	38,9	1270	1365	1130	1186	116,8	125,6	103,9	109,1
Braunkohle	30,5	34,2	39,9	37,2	1795	1346	1321	1404	200,0	149,9	147,2	156,4
Heizöl[1)]	34,8	25,8	37,4	32,8	109	66	36	42	8,4	5,1	2,8	3,2
Erdgas	38,9	45,2	52,1	49,2	332	389	479	447	18,6	21,8	26,8	25,0
Kernenergie	31,3	31,2	31,2	31,2	1663	1763	1691	1613	0,0	0,0	0,0	0,0
Wasserkraft	99,1	98,3	100,0	100,0	71	83	84	84	0,0	0,0	0,0	0,0
Wind	104,7	100,0	100,0	100,0	0	16	74	137	0,0	0,0	0,0	0,0
Photovoltaik	100,0	100,0	100,0	100,0	0	0	1	3	0,0	0,0	0,0	0,0
Andere Brennstoffe	31,7	24,7	34,4	28,7	168	190	160	210	9,9	10,7	9,0	11,1
Summe	33,8	35,5	40,3	39,1	5408	5218	4976	5125	353,7	313,1	289,6	304,8

CO_2-Emissionen im Energiesektor (in Mio. t)						
	1990	1998	2010 EK	Differenz 2010-1998	2010 EK-mod	2010 EK-mod ./. EK
Energiesektor	440,5	367,5	337,6	-29,9	352,8	15,2
Stromerzeugung	353,7	313,1	289,6	-23,5	304,8	15,2
übr. Energiesektor	86,8	54,4	48,0	-6,4	48,0	0,0

[1)] Einschließlich Dieselkraftstoff und übrige Mineralölprodukte..

Saldiert man die daraus resultierenden emissionsmindernden bzw. –erhöhenden Wirkungen, so ergibt sich für das Referenzszenario („Mit-Maßnahmen-Szenario“) ein Wert von knapp

353 Mio. t, also gut 15 Mio. t CO_2 mehr als im Enquete-Referenzszenario. Energie- und klimaschutzpolitische Maßnahmen mit unmittelbarem Bezug auf den Energiesektor waren in der Vergangenheit (s.o.) vergleichsweise begrenzt.

Von wesentlicher Bedeutung sind die Auswirkungen des inzwischen beschlossenen und eingeleiteten Atomausstiegs, wenn auch mit emission*serhöhenden* Effekten. Unter der Annahme, dass aufgrund des Atomkonsenses bis 2010 die Kernkraftwerke Obrigheim, Stade, Biblis A, Neckarwestheim und Brunsbüttel stillgelegt werden, ohne den vereinbarten Ausstieg aber nur Obrigheim und Stade, errechnet sich eine Emissionserhöhung von gut 14 Mio. t CO_2.

Erhebliche emission*smindernde* Wirkungen werden demgegenüber von der politisch geförderten, expansiven Nutzung erneuerbarer Energiequellen zur Stromerzeugung erwartet. Wie an anderer Stelle (vgl. Kapitel 3.10) im Einzelnen dargelegt wird, summiert sich die Minderungswirkung bis zum Jahre 2010 auf nahezu 28 Mio. t.

Im Unterschied zu den im Dritten Nationalbericht genannten Wirkungen dürften sich die CO_2-Emissionen durch die Maßnahmen zur Bestandssicherung bzw. Modernisierung von KWK-Anlagen nach ersten Berechnungen nur begrenzt vermindern:

- So hatte das KWK-Gesetz 2000 lediglich eine Bestandserhaltungsfunktion mit Erstreckung nicht nur auf die reine KWK-Stromerzeugung, sondern auch auf den Kondensationsstrom in KWK-Anlagen (Entnahme-Kondensationskraftwerke). Dadurch könnte es teilweise sogar zu negativen Effekten gekommen sein. Insgesamt sind aber von diesem Gesetz zusätzlichen CO_2-Minderungseffekte ausgegangen.

- Die CO_2-Minderungswirkungen des KWK-Modernisierungsgesetzes 2002 werden nach heutigen Erkenntnissen weit verfehlt. Gefördert werden im Wesentlichen nur Anlagenmodernisierungen (abgesehen von den ganz kleinen BHKW und Brennstoffzellen), die bis zum 31. März 2003 die Zulassung beantragt haben und bei denen die Modernisierung bis Ende 2005 abgeschlossen sein muss. Liefen die ursprünglichen Zielsetzungen für das Jahr 2010 auf 20, möglichst aber 23 Mio. t CO_2-Reduktion hinaus, wovon etwa 11 Mio. t CO_2 den Wirkungen des KWK-Gesetzes zugeschrieben werden konnten, so ist nach ersten Umfragen bei den VKU-Unternehmen (die den weitaus größten Teil der in Frage kommenden Unternehmen ausmachen) zu erwarten, dass der CO_2-Minderungseffekt lediglich rund 2 Mio. t beträgt; die in Übersicht 3.8-2 ausgewiesenen 4 Mio. t CO_2 dürften die obere Grenze darstellen (zu den Emissionsminderungswirkungen im Bereich der industriellen KWK vgl. Kapitel 3.2).

Im Ergebnis können also die Reduktionswirkungen der hier betrachteten Maßnahmen zusammen auf fast 18 Mio. t CO_2 veranschlagt werden. Ohne Berücksichtigung der mit dem

Kernenergieausstieg verbundenen Emissionserhöhung lässt sich der Minderungseffekt sogar auf rund 32 Mio. t CO_2 beziffern.

Übersicht 3.8-2 Klimaschutzpolitische Maßnahmen im „Mit-Maßnahmen-Szenario“ im Energiesektor

Maßnahme/ Umsetzung/ Institution	Typ	Beschreibung/Ziele (Wirkungsbereich)	Umsetzungs-stand (Wirkungs-beginn)	Erwarteter Effekt 2008/2012 in Mio. t CO_2	Ausblick 2020 (qualitativ)
Liberalisierung des Strom- und Gasmarktes	E	Wettbewerbliche Orientierung des Strom- und Gasmarktes mit dem Ziel der Effizienzsteigerung zur Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit und der Erwartung sinkender Strom- und Gaspreise	Apr 98	offen	offen, hängt von Wirkungen auf die Strompreise ab
Förderung erneuerbarer Energien	F	vgl. Übersicht über erneuerbare Energien		-27,9	steigend
Gesetz zur Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung 2000	E	Sicherung der wirtschaftlichen Basis bestehender KWK-Anlagen	01.01.2002	nur marginaler Effekt	keine Auswirkung
Gesetz zur Modernisierung der KWK 2002	E	Modernisierung und (begrenzter) Ausbau der KWK (nur Anlagen der allgemeinen Versorgung)	01.04.2002	-4,0	hängt von Nachfolgegesetz ab
Energiekonsens über das Auslaufen der Kernenergienutzung	V	Mit dem Atomkonsens ist ein langfristiges Auslaufen der Kernenergienutzung vereinbart worden.	2000	14,2	steigende Emissionszunahme
Grubengasnutzung Wirtschaft	O	Verstärkte Nutzung von Grubengas	seit 1993	Referenz	weiter schwach steigend
Zubau von Erdgas GuD-Kraftwerken Wirtschaft	O	Modernisierung des Kraftwerksparks. Ziele: Erhöhung Wirkungsgrad und Substitution kohlenstoffintensiver durch kohlenstoffärmere Energieträger	laufend	Referenz	potenziell stark steigend
Verminderung Methanverluste bei Gewinnung und Transport von Erdgas Wirtschaft	O	Optimierung der technischen Prozesse bei der Gewinnung und dem Transport von Erdgas	laufend	kA	weiter schwach steigend
1) Gewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen auf die direkten CO_2-Emissionen				**-17,7**	**steigend**
2) Direkte CO_2-Emissionen nach dem Referenz-Szenario der Enquete-Kommission)				**337,6**	**fallend**
2a) Modifizierung des Referenz-Szenarios der Enquete-Kommission um Zuschläge aufgrund von Veränderungen von Niveau und Struktur des Brennstoffeinsatzes zur Stromerzeugung				**15,2**	
2b) Direkte CO_2-Emissionen des Sektors im "Mit-Maßnahmen-Szenario" (modifiziertes Referenz-Szenario der Enquete-Kommission)				**352,8**	
3) Direkte CO_2-Emissionen des Sektors im Ohne-Maßnahmen-Szenario (1+2)				**370,5**	
CO_2-Emissionen im Basisjahr 1990				**439,2**	

3.8.4 Siedlungs-KWK (Öko-Institut)

Unter den Aspekten von Klimaschutz und Ressourcenschonung kann die Kraft-Wärme-Kopplung eine wesentliche Rolle spielen. Vor diesem Hintergrund hat es in der Vergangenheit immer wieder Programme zu Ihrer Förderung gegeben (etwa die ZIP-Programme in den siebziger Jahren). Die zentralen Fördermaßnahmen, die seit 1998 umgesetzt worden sind, betreffen zunächst die beiden im vorangegangenen Kapitel 3.8 bereits zitierten Gesetze, nämlich

1. Gesetz zum Schutz der Stromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz) vom 12. Mai 2000 (BGBl. I S. 2992)

2. Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz) vom 19. März 2002 (BGBl. I Nr. 19 vom 22. März 2002)

sowie

3. die Sonderegelung für die erdgasgestützte Kraft-Wärme-Kopplung im Rahmen der ökologischen Steuerreform.

Darüber hinaus sind Regelungen zur Kraft-Wärme-Kopplung auch noch in der Novellierung der Großfeuerungsanlagen-Verordnung (13. BImSchV) enthalten, die jedoch eher deklamatorischen Charakter tragen und von denen kein signifikanter materieller Beitrag zum Ausbau der KWK erwartet werden kann. Unmittelbare und kurzfristige CO_2-Minderungseffekte können weiterhin auch der zwischenzeitlich beschlossenen EU-Richtlinie zur Kraft-Wärme-Kopplung nicht zugerechnet werden.[88] Die Richtlinie enthält einerseits keinerlei Ziele oder verbindlich vorgeschriebene Umsetzungsinstrumente, jedoch werden andererseits die Verpflichtungen zur Potenzialabschätzung und zur Berichterstattung sowie zur Ermittlung des hocheffizienten KWK-Stroms ihren Niederschlag im politischen Prozess finden. Die Wirkung der Richtlinie wird daher eher in der Agendasicherung für die KWK-Förderung als in konkreten CO_2-Minderungsbeiträgen bestehen können.

---

[88] Richtlinie 2004/8/EG vom 11. Februar 2004 über die Förderung einer am Nutzwärmebedarf orientierten Kraft-Wärme-Kopplung im Energiebinnenmarkt und zur Änderung der Richtlinie 92/42/EWG (ABl. EU L52/50).

Wie bereits zuvor erwähnt wurde, hatte das KWK-Gesetz aus dem Jahr 2000 lediglich eine Bestandserhaltungsfunktion. Gleiches gilt vor dem Hintergrund der Preisentwicklung auf den Brennstoffmärkten für die Erdgassteuerbefreiung im Rahmen der ökologischen Steuerreform. Beide Regelungen haben vor allem den Abbau der Stromerzeugung in Kraft-Wärme-Kopplung durch den Verdrängungswettbewerb im Rahmen der Strommarktöffnung sowie die Preissteigerungen auf den Brennstoffmärkten verhindert. D.h., dass durch diese Instrumente wurden exogen induzierte negative CO_2-Minderungseffekte kompensiert. Wenn überhaupt, dürften zusätzliche CO_2-Minderungseffekte kaum ins Gewicht fallen.

Anders sieht es mit dem am 1. April 2002 in Kraft getretenen KWK-Gesetz (KWKG) aus, das an die Stelle einer ursprünglich vorgesehenen Quotenregelung für KWK-Strom trat. Hintergrund dieses Gesetzes ist die am 25. Juni 2001 von Verbänden der Wirtschaft sowie der Bundesregierung paraphierte und am 19. Dezember 2003 in Kraft getretene „Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Minderung der CO_2-Emissionen und der Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung in Ergänzung zur Klimavereinbarung vom 9.11.2000“. In dieser Vereinbarung heißt es u.a.:

„Unter Bezugnahme und aufbauend auf dieser Vereinbarung besteht zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der unterzeichnenden Wirtschaft/Energiewirtschaft Einvernehmen, daß im Rahmen des nationalen Klimaschutzprogramms der Bundesregierung vom 18. Oktober 2000 (5. Bericht der interministeriellen Arbeitsgruppe „CO_2-Reduktion“) durch die Energiewirtschaft eine Emissionsreduktion von insgesamt bis zu 45 Mio. t CO_2/Jahr bis zum Jahr 2010 erreicht wird.

Dieser Beitrag soll durch Erhalt, Modernisierung und Zubau von Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) (einschließlich kleiner Blockheizkraftwerke (BHKW) und der Markteinführung von Brennstoffzellen) mit einem Minderungsziel (Basis 1998) von insgesamt möglichst 23 Mio. t CO_2/Jahr, jedenfalls nicht unter 20 Mio. t CO_2/Jahr in 2010 erreicht werden. Des weiteren soll eine CO_2-Minderung bis zu 25 Mio. t/Jahr in 2010 über andere Maßnahmen erfolgen, die in den die Selbstverpflichtung der Wirtschaft konkretisierenden Einzelerklärungen der Energiewirtschaftsverbände näher ausgeführt werden...

Die Unterzeichner unterstützen den Erhalt, die Modernisierung und den Zubau von Anlagen der KWK unter Berücksichtigung des anliegenden Maßnahmenpakets (Anlagen: KWK/ Nah- und Fernwärme/ BHKW und Brennstoffzellen sowie Förderung von BHKW Anlagen bis zu 2 MWel und Brennstoffzellen) und damit das Ziel, einen Minderungsbeitrag in einer Größenordnung von 10 Mio. t CO_2/Jahr bis 2005 (Zwischenziel) bzw. insgesamt möglichst 23 Mio. t CO_2/Jahr, jedenfalls nicht unter 20 Mio. t CO_2/Jahr bis 2010 zu erreichen.

Die Bundesregierung und die unterzeichnende Energiewirtschaft gehen ferner davon aus, daß sonstige CO_2-Minderungsmaßnahmen (Anlage: Sonstige CO_2-Minderungsmaßnahmen) die Emissionsvolumina im Jahre 2005 um 10 Mio. t CO_2/Jahr und bis zum Jahr 2010 um bis zu 25 Mio. t CO_2/Jahr senken. Bei diesen CO_2-Minderungen sind die infolge der Kernenergie-Verständigung möglichen CO_2-Emissionserhöhungen nicht berücksichtigt (siehe 5. Bericht der interministeriellen Arbeitsgruppe „CO_2-Reduktion“).“

Damit bildet das KWKG einen zentralen Baustein sowohl für die Umsetzung dieser Vereinbarung als auch des Klimaschutzprogramms der Bundesregierung. In der Diskussion von Vereinbarung und Gesetz wurde davon ausgegangen, dass durch das KWKG etwa die Hälfte des für die KWK formulierten Minderungsziels umgesetzt werden soll. Dies entspricht einer Minderung von ca. 5 Mio. t CO_2 bis zum Jahr 2005 sowie von 10 bis 11,5 Mio. t CO_2 bis zum Jahr 2010.

Das KWKG verfolgt verschiedene Zielsetzungen, nämlich

- die Flankierung des Betriebs von (alten und neuen) Bestandsanlagen,
- die Modernisierung von Bestandsanlagen, wobei die Inbetriebnahme der modernisierten Anlagen bis spätestens zum 31. Dezember 2005 erfolgen muss und eine Reihe weiterer Nebenbedingungen eingehalten werden müssen,
- den Zubau von kleinen KWK-Anlagen (50 kW bzw. 50 kW bis 2 MW) sowie von Brennstoffzellen, wobei die Zuschlagszahlungen für Anlagen der Größenklasse von 50 kW bis 2 MW erstens degressiv gestaltet sind und zweitens bis zum 31. Dezember 2010 begrenzt sind; für kleine BHKW Anlagen bis 50 kW (Kleinstanlagen) und Brennstoffzellen erfolgen dagegen die Zuschlagszahlungen für insgesamt 10 Jahre ab Aufnahme des Dauerbetriebs der Anlage.

Je nach Kategorie werden für den eingespeisten KWK-Strom unterschiedliche Zuschläge gezahlt. Die Zuschlagsregelungen des KWKG, die im Übrigen ausschließlich für die Strommengen gelten, die in das Netz der allgemeinen Versorgung eingespeist werden, sind im Detail in Tabelle 3.8-6 dargestellt.

Tabelle 3.8-6 Zuschlagsregelungen nach dem KWK-Gesetz

Zuschlag in cent/kWh	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Alte Bestandsanlagen (Inbetriebnahme bis zum 31.12.1998)	1,53	1,53	1,38	1,38	0,97				
Neue Bestandsanlagen (Inbetriebnahme einer neuen Anlage oder einer mit mindestens 50 % Kostenaufwand modernisierten Anlage zwischen 01.01.1990 und 31.03.2002)	1,53	1,53	1,38	1,38	1,23	1,23	0,82	0,56	
Modernisierte Anlagen (alte Bestandsanlage, modernisiert und zwischen 01.04.2002 und 31.12.2005 wieder in Dauerbetrieb genommen)	1,74	1,74	1,74	1,69	1,69	1,64	1,64	1,59	1,59
Neue kleine KWK-Anlagen (größer 50 kW_{el} bis zu 2 MW_{el}) (Inbetriebnahme ab 01.04.2002) und bis zu 50 kW_{el} (Inbetriebnahme nach dem 31.12.2005)	2,56	2,56	2,40	2,40	2,25	2,25	2,10	2,10	1,94
Neue kleine KWK-Anlagen bis 50 kWel (Inbetriebnahme zwischen 01.04.2002 und 31.12.2005)	5,11 cent/kWh für einen Zeitraum von 10 Jahren ab Aufnahme des Dauerbetriebs der Anlage								
Neue Brennstoffzellen (Inbetriebnahme ab 01.04.2002)									

Quelle: KWK-Gesetz 2002.

Die Randbedingungen für die Inanspruchnahme der Förderung lassen allerdings nur eine begrenzte Wirkung erwarten, zumal der Ausbau der KWK strikt auf kleine KWK-Anlagen und auf Brennstoffzellen (mit einer Deckelung der maximal geförderten Erzeugung) beschränkt worden ist. Aber auch den CO_2-mindernden Wirkungen von Modernisierungsmaßnahmen sind enge Grenzen gesetzt. So heißt es in §5 Abs. (1) Tz. 3 und (2):

„(1) Anspruch auf Zahlung des Zuschlags besteht für KWK-Strom aus folgenden vor Inkrafttreten des Gesetzes in Dauerbetrieb genommenen Anlagen:

…

3. *alten Bestandsanlagen, die modernisiert oder durch eine neue Anlage ersetzt und nach dem Inkrafttreten dieses Gesetzes, spätestens jedoch bis zum 31. Dezember 2005, wieder in Dauerbetrieb genommen worden sind (modernisierte Anlagen). Eine Modernisierung liegt vor, wenn wesentliche die Effizienz bestimmende Anlagenteile erneuert worden sind und die Kosten der Erneuerung mindestens 50 vom Hundert der Kosten für die Neuerrichtung der gesamten Anlage betragen. Der Anspruch auf Zuschlag für modernisierte Anlagen besteht nur, soweit der KWK-Strom nicht auf einer Erhöhung des Wärmeanschlusswertes des Fernwärme-Versorgungsnetzes, an das die KWK-Anlage angeschlossen ist, beruht. Der Wärmeanschlusswert im Sinne des Satzes 3 ist die Summe der Wärmeanschlusswerte der über das Fernwärme-Versorgungsnetz zum 31. Dezember 2000 versorgten Kunden. Soweit modernisierte Anlagen einer immissionsschutzrechtlichen Genehmigung bedürfen, besteht der Anspruch auf Zuschlag für modernisierte Anlagen nur, wenn bis zum 1. April 2003 ein Antrag auf Erteilung einer Genehmigung im Sinne des § 10 Abs. 1 Satz 1 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes in Verbindung mit § 3 der Neunten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes bei der dafür zuständigen Behörde gestellt worden ist. Ein Doppel dieses Antrages ist vom Antragsteller dem Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle zu übermitteln.*

(2) Anspruch auf Zahlung des Zuschlags besteht für KWK-Strom aus folgenden nach Inkrafttreten des Gesetzes in Dauerbetrieb genommenen Anlagen:

1. *kleinen KWK-Anlagen, soweit sie nicht eine bereits bestehende Fernwärmeversorgung aus KWK-Anlagen verdrängen, und*
2. *Brennstoffzellen-Anlagen.*

Der Anspruch auf Zahlung für KWK-Strom aus Anlagen nach Satz 1 Nr. 1 besteht nicht mehr nach dem 31. Dezember des Jahres, das auf das Jahr folgt, in dem seit dem Inkrafttreten des Gesetzes Ansprüche auf Zahlung des Zuschlags für elf Terawattstunden KWK-Strom aus Anlagen nach Satz 1 Nr. 1 entstanden sind. Sind in dem letzten Anwendungsjahr noch keine Ansprüche für 14 Terawattstunden KWK-Strom seit dem Inkrafttreten des Gesetzes entstanden, so bestehen Ansprüche für ein weiteres Jahr. Die zuständige Stelle gibt die seit Inkrafttreten des Gesetzes eingespeiste KWK-Strommenge aus Anlagen nach Satz 1 Nr. 1 jährlich im Bundesanzeiger bekannt.“

Durch die Stichtagsregelung für die Antragstellung (31. April 2003) und für die Inbetriebnahme modernisierter KWK-Anlagen im Jahr 2005 wird gleichzeitig auch der CO_2-Minderungsbeitrag für das Jahr 2010 durch die bis dahin realisierten modernisierten KWK-Anlagen weitgehend vorbestimmt werden.

Die nach KWKG geförderte KWK-Strommenge aus Bestandsanlagen lässt sich aus den Abrechnungen der Zuschlagszahlungen ermitteln; für die Anlagenmodernisierung wurde im Rahmen der hier vorliegenden Arbeit auf verschiedene Umfragen zurückgegriffen.

Die vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA), das für die Durchführung des Gesetzes zuständig ist, im Detail erhobenen Daten zur KWK-Förderung werden nach Auskunft des BAFA erst im September 2003 vorliegen, so dass sich erst dann weitere Möglichkeiten zur Analyse der Maßnahmenwirkungen ergeben.

Bis zum 31. Mai 2003 wurden beim BAFA insgesamt 5 345 Anträge auf Zulassung gestellt, die sich auf Bestandsanlagen, Modernisierung von Bestandsanlagen sowie den Zubau von kleinen KWK-Anlagen und Brennstoffzellen erstrecken. Von den insgesamt 5 345 Anträgen bezog sich der ganz überwiegende Teil auf kleine KWK-Anlagen und Brennstoffzellen (Bestand und Zubau), hier wurden 4 749 Anträge (89%) gestellt. Weniger als 600 Anträge entfielen demnach auf Bestandsanlagen sowie auf die Modernisierung von Bestandsanlagen.

Ergebnisse der VKU-Umfrage vom Frühjahr 2003

Im Frühjahr 2003 wurde vom Verband kommunaler Unternehmen (VKU) unter den Mitgliedsunternehmen von VKU und AGFW eine Umfrage zu Modernisierungsvorhaben im

Rahmen des KWKG durchgeführt.[89] Da die Anmeldefrist für die Modernisierung von KWK-Bestandsanlagen am 31. März 2003 auslief und die Inbetriebnahme bis Ende 2005 erfolgen muss, mussten die entsprechenden Investitionsentscheidungen im Verlauf des Jahres 2003 getroffen werden.

Der Fragenkatalog wurde von insgesamt 373 Unternehmen beantwortet. Von diesen 373 Unternehmen gehören 22 Unternehmen dem VKU *nicht* an. 274 der erfassten Unternehmen betreiben KWK-Anlagen, davon 15 Nicht-VKU-Unternehmen.

Die Frage, ob eine Anlagenmodernisierung (nach KWK-Gesetz) geplant sei, verneinten insgesamt 232 Unternehmen, darunter 15 nicht dem VKU angehörende Unternehmen. Von den 134 verbleibenden Unternehmen machten jedoch nur 29 Unternehmen Angaben zu den im Rahmen der Modernisierung errichteten Anlagen.

Insgesamt 28 Unternehmen machten Angaben zu fest eingeplanten Investitionen für insgesamt 32 Anlagen im Rahmen der KWK-Modernisierung.

Insgesamt 24 Anlagen betreffen dabei eine Leistung von größer 2 MW, wobei die insgesamt geplante Leistung vor allem von wenigen großen Anlagen dominiert wird.[90]

Die Angaben zu den Modernisierungsentscheidungen erfassen Anlagen mit einer Netto-Stromerzeugungsleistung von insgesamt 2 248 MW. Die entsprechende Nettostromerzeugung beträgt 12,6 TWh, davon 8,6 TWh KWK-Strom gemäß FW 308. Die gesamte Wärmeerzeugungsleistung beträgt 2 940 MW mit einer Wärmeerzeugung von 9,9 TWh. Als Brennstoff wird durchgängig – mit Ausnahme von drei Müllverbrennungsanlagen mit einer elektrischen Leistung von je 50 MW sowie einem neuen Kohleheizkraftwerk mit einer Leistung von 255 MW – Erdgas genannt.

- Wie Abbildung 3.8-2 zeigt, wird das Modernisierungsvolumen vor allem durch die fünf Anlagen der 190 bis 400 MW-Klasse dominiert, diese repräsentieren ca. zwei Drittel der elektrischen Leistung, 58 % der installierten Wärmeleistung, 66 % der gesamten Stromer-

---

[89] Wie schon bei einer ersten Umfrage im Frühjahr 2002 wurde auch diesmal der Fragebogen in Kooperation zwischen VKU und Öko-Institut erstellt, wobei die Umfrage selbst durch den VKU, die Auswertung aber vom Öko-Institut vorgenommen wurde.

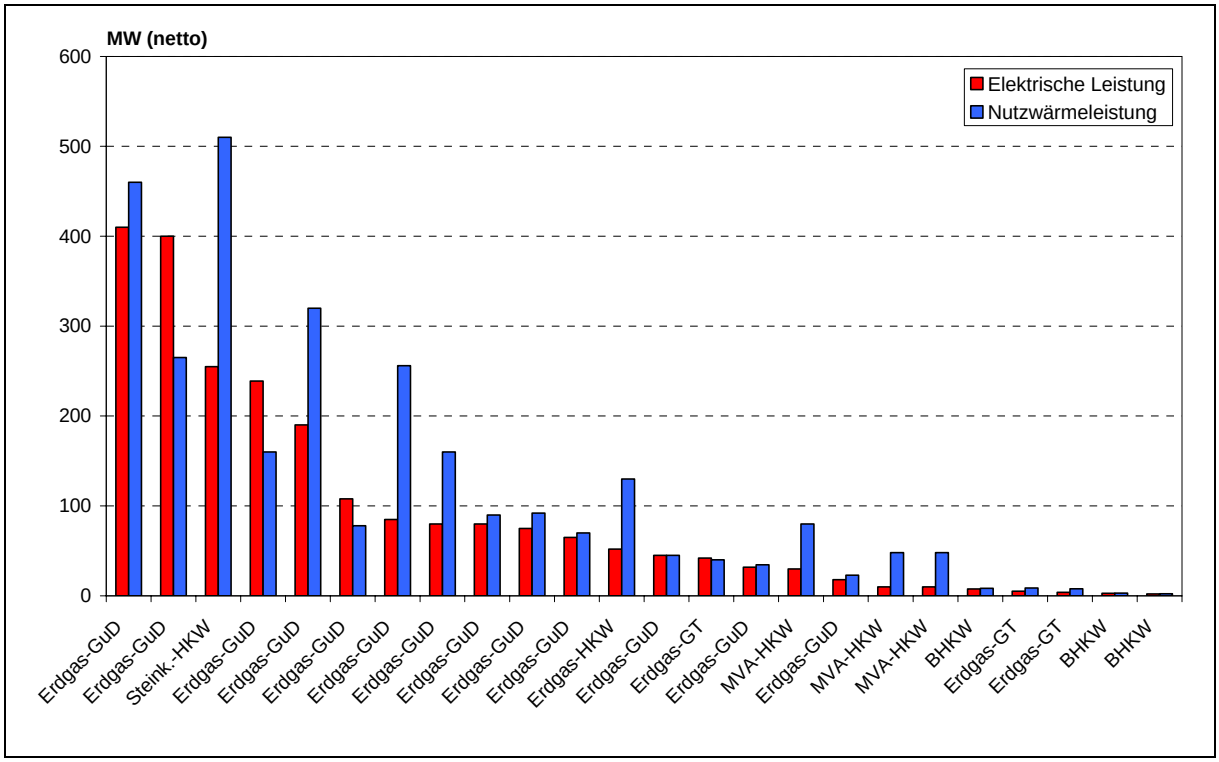
[90] Die verbleibenden Anlagen wurden zwar unter Anlagenmodernisierung berichtet, sind jedoch im Sinne des KWK-Gesetzes eher den kleinen KWK-Anlagen zuzuordnen und werden daher hier nicht weiter betrachtet.

zeugung, 58 % der KWK-Stromerzeugung sowie etwa die Hälfte der geplanten Wärmeproduktion.

- Die verbleibenden Anteile werden fast vollständig von den Anlagen in der Größenklasse von 50 bis 110 MW realisiert. Die sieben hier erfassten Ablagen realisieren ca. 24 % der installierten elektrischen Leistung, 30 % der Wärmeleistung, 23 % der gesamten und 30 % der KWK-Stromerzeugung sowie 32 % der Wärmeproduktion.

Bereits diese Übersicht macht deutlich, dass die (nennenswerten) Kondensationsstromanteile unter den erfassten Anlagen überwiegend den großen KWK-Anlagen (>190 MW) zuzuordnen sind. Die Müllverbrennungsanlagen spielen volumenseitig nur eine geringe Rolle. Als dominierte Technologie kommen Erdgas-GuD-Anlagen zum Einsatz.

Abbildung 3.8-2 Leistungsverteilung der geplanten Modernisierungsanlagen



Quellen: VKU, Berechnungen des Öko-Instituts.

Aus den Investitionsentscheidungen für die Neuanlagen lässt sich der Bruttoeffekt für die CO_2-Minderung ermitteln. Der Bruttoeffekt ergibt sich aus der Differenz der CO_2-Emissionen der KWK-Anlagen und den CO_2-Emissionen der Referenzsysteme für die getrennte Erzeugung von Strom und Wärme.

Tabelle 3.8-7 Leistung, Stromerzeugung und CO_2-Emissionen der neuen KWK-Anlagen

	Netto-Leistung		Netto-Erzeugung			Emission	
	Strom	Wärme	Strom	KWK-Strom	Wärme	gesamt	KWK
	MW		GWh			1.000 t CO_2	
Erdgas-HKW (BHKW, GT, GuD, DT)	1.943	2.254	10.681	8.208	8.645	4.682	3.775
Kohle-HKW	255	510	1.594	255	510	1.366	288
MVA-HKW	50	176	315	166	700	84	52
Summe	2.248	2.940	12.590	8.629	9.855	6.132	4.114

Quellen: VKU, Berechnungen des Öko-Instituts.

Die CO_2-Emissionen der KWK-Anlagen errechnen sich einerseits über die geplante Nutzwärmeerzeugung und die KWK-Stromerzeugung (für den Gesamtnutzungsgrad der Gegendruckscheibe wurde ein Nutzunggrad von 90% unterstellt) und andererseits über den Nutzungsgrad der Kondensationsstromanteile (hier wurde für neue Erdgas-GuD-Anlagen ein Nutzungsgrad von 55% und für neue Steinkohlenkraftwerke ein Nutzungsgrad von 42% unterstellt). Insgesamt ergeben sich damit gesamte CO_2-Emissionen von ca. 6,1 Mio. t CO_2, davon sind etwa 4,1 Mio. t CO_2 direkt dem KWK-Prozess zuzurechnen.

Das Referenzsystem für die vermiedene ungekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme ist stets spekulativer Natur. Für die hier angestellten Analysen wurde auf der Stromseite ein jeweils hälftiger Mittellastmix aus modernen Steinkohle- und Erdgas-GuD-Kraftwerken unterstellt, aus dem sich vermiedene Emissionen von 586 g CO_2 je Kilowattstunde ungekoppelter Stromerzeugung errechnen. Auf der Wärmeseite wurde ebenfalls ein hälftiger Ersatz von Gas- und Ölheizungen angenommen, aus dem sich vermiedene CO_2-Emssionen von 260 g CO_2 je Kilowattstunde ungekoppelter Wärmeerzeugung ermitteln lassen.

Tabelle 3.8-8 Vermiedene CO_2-Emissionen durch die neuen KWK-Anlagen

	Referenzsystem			Vermiedene Emissionen der ungekoppelten Erzeugung			
	Strom	KWK-Strom	Wärme	Strom	KWK-Strom	Wärme	Summe
	g CO_2/kWh			1.000 t CO_2			
Erdgas-HKW (BHKW, GT, GuD, DT)	586	586	260	6.261	4.811	2.248	8.508
Kohle-HKW	586	586	260	934	149	133	1.067
MVA-HKW	586	586	260	185	97	182	367
Summe				7.379	5.057	2.562	9.942

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts.

Den Gesamtemissionen der KWK-Anlagen von ca. 6,1 Mio. t CO_2 stehen also ca. 9,9 Mio. t CO_2 gegenüber, die durch den Ersatz ungekoppelter Strom- und Wärmeerzeugung vermieden werden. Im Saldo ergibt sich durch den Neubau der sogenannten Modernisierungsanlagen eine CO_2-Vermeidung von etwa 3,8 Mio. CO_2.

Da sich die Wirkung des KWK-Gesetzes jedoch auf die Modernisiering, das heißt den Ersatz bereits existierender KWK-Anlagen abstellt, kann das genannte CO_2-Vermeidungsvolumen nicht vollständing in Ansatz gebracht werden. In einem zweiten Schritt muss daher eine Abschätzung erfolgen, welche CO_2-Minderung durch die bestehenden KWK-Anlagen realisiert worden sind.

Tabelle 3.8-9 Leistung, Stromerzeugung und CO_2-Emissionen der alten KWK-Anlagen

	Netto-Leistung		Netto-Erzeugung			Emission	
	Strom	Wärme	Strom	KWK-Strom	Wärme	gesamt	KWK
	MW		GWh			1.000 t CO_2	
Erdgas-HKW	1.193	2.193	2.856	1.432	4.249	2.093	1.272
Kohle-HKW	398	1.003	944	798	2.773	1.472	1.342
MVA-HKW	44	160	128	111	369	33	29
Summe	1.635	3.356	3.928	2.340	7.390	3.598	2.643

Quellen: VKU, Berechnungen des Öko-Instituts.

Insgesamt werden durch die im Rahmen der KWK-Modernisierung errichteten neuen Heizkraftwerke insgesamt KWK-Anlagen mit einer Kapazität von ca. 1 600 MW elektrisch und etwa 3 356 MW thermisch ersetzt. Ganz überwiegend (ca. 73% von elektrischer Leistung und gesamter Stromerzeugung) werden Erdgas-Heizkraftwerke ersetzt, nur zu einem geringeren Teil (24% von elektrischer Leistung und gesamter Stromerzeugung) Kohle-Heizkraftwerke. Unter anderem bedingt durch den vergleichsweise hohen Kondensationsstromanteil der alten KWK-Anlagen ergeben sich Gesamtemissionen von ca. 3,6 Mio. t CO_2, davon sind ca. 2,6 Mio. t CO_2 dem KWK-Prozess zuzurechnen.

Im Vergleich zwischen Alt- und Neuanlagen ist zunächst auf die Abweichungen der installierten Leistungen hinzuweisen. In den Neuanlagen werden ca. 400 MW Wärmeleistung weniger (-14%) und ca. 600 MW elektrischer Leistung mehr (+27%) installiert sein als in den ersetzten Altanlagen. Die erzeugten Strom- und Wärmemengen werden dagegen in erheblichem Maße ausgeweitet. Vorgesehen ist eine Wärmeerzeugung, die um ca. 25% über der in den Altanlagen liegt. Signifikant ausgeweitet werden die Stromkennzahlen und die Stromerzeugung; die mittlere Stromkennzahl steigt um den Faktor 2,4 und die gesamte Nettostromerzeugung um über 70%.

Tabelle 3.8-10 Vermiedene CO_2-Emissionen durch die alten KWK-Anlagen

	Referenzsystem			Vermiedene Emissionen der ungekoppelten Erzeugung			
	Strom	KWK-Strom	Wärme	Strom	KWK-Strom	Wärme	Summe
	g CO_2/kWh			1.000 t CO_2			
Erdgas-HKW	586	586	260	1.674	839	1.105	2.779
Kohle-HKW	586	586	260	553	467	721	1.274
MVA-HKW	586	586	260	75	65	96	171
Summe				2.302	1.372	1.921	4.224

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts.

Für den Vergleich mit der ungekoppelten Erzeugung zur Ermittlung der Netto-CO_2-Vermeidung im Kontext der KWK-Modernisierung müssen aus Konsistenzgründen die gleichen Referenzsysteme wie für die Neuanlagen in Ansatz gebracht werden.

Im Vergleich zu den (modernen) Systemen der ungekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung ergibt sich eine Emissions-Entlastung von ca. 0,6 Mio. t CO_2.

Diese, bereits den Altanlagen zuzurechnende CO_2-Minderung muss von der Emissionsvermeidung der Neuanlagen in Höhe von ca. 3,8 Mio. t CO_2 abgesetzt werden. Als Netto-Effekt der zusätzlichen Emissionsminderung ergibt sich also insgesamt ein Volumen von ca. 3,2 Mio. t CO_2 insgesamt. Davon ist ein Anteil von etwa 2,9 Mio. t CO_2 dem KWK-Prozess zuzurechnen, ca. 0,3 Mio. t CO_2 sind der Kondensationsstromerzeugung in den neuen KWK-Anlagen zuzurechnen.

Überwiegend werden so durch die neuen (modernisierten) KWK-Anlagen alte Erdgas-Anlagen ersetzt. Nur fünf Anlagen treten an Stelle bisheriger Kohle-HKW, die drei Müllverbrennnungsanlagen ersetzen jeweils alte MVA. Als Besonderheit sind schießlich die Errichtung einer neuen Steinkohlen-Anlage für ein Sammelschienen-HKW und die Nachrüstung einer vorgeschalteten Gasturbine zu nennen. Insgesamt bilden damit CO_2-Minderungen durch Effizienzgewinne einen deutlichen Schwerpunkt der insgesamt erzielten CO_2-Minderung.

Für die modernisierten KWK-Anlagen lässt sich überschlägig ein Investitionsvolumen von ca. 1,4 Mrd. € ermitteln.

Zwei Unternehmen berichten über die Modernisierung von KWK-Anlagen Dritter. Hier wird eine Stromerzeugung in Höhe von ca. 75 GWh angegeben. Daraus ergibt sich eine CO_2-Einsparung von ca. 0,03 Mio. t CO_2.

Kleine KWK-Anlagen und Brennstoffzellen

Eine erheblich schlechtere Datenbasis ergibt sich hinsichtlich der kleinen KWK Anlagen mit einer Leistung kleiner 2 MW. Die umfassendste Datenerhebung wurde hier vom Bundesverband Kraft-Wärme-Kopplung (B.KWK) im Sommer 2003 unter den BHKW-Herstellern vorgenommen. Für die ersten zwölf Monate des KWK-Gesetzes wurde hier ein BHKW-Neubau von 40 MW im Leistungsbereich bis 2 MW ermittelt. Dabei hatten ca. 2,5 % der verkauften Anlagen eine Leistung von über 50 kW, realisierten aber etwa 70 % der gesamten installierten Leistung. In grober Schätzung ergibt eine Fortschreibung dieses Trends bis zum Jahr 2010 einen Zubau von BHKW mit einer gesamten Leistung von 320 MW, daraus ergibt sich unter Zugrundlegung der o.g. Verdrängungsansätze eine zusätzliche CO_2-Minderung von ca. 0,66 Mio. t im Jahr 2010.

Zur Errichtung von Brennstoffzellen im Rahmen des KWKG liegen bisher keinerlei belastbare Daten vor. Der technologische Entwicklungsstand der Brennstoffzellentechnologie sowie das Verhältnis der zu erwarteten Kosten für Brennstoffzellen zu den gewährten Bonussätzen lassen jedoch nicht vermuten, dass im Rahmen des KWKG bis zum Jahr 2010 signifikante CO_2-Minderungsbeiträge von Brennstoffzellenanlagen erbracht werden.

Erste Schlussfolgerungen

Obwohl zwischenzeitlich bereits eine Vielzahl von Daten und Auswertungen zur Umsetzung des KWKG vorliegt, ist gegenwärtig noch kein abschließendes und konsistentes Bild über die verschiedenen Wirkungsdimensionen des Gesetzes möglich. Erhebliche Unsicherheiten verbleiben

- in Bezug auf die Sicherung der KWK-Stromproduktion aus bestehenden Anlagen, also der Vermeidung emissionserhöhender Effekte,
- in Bezug auf Modernisierungsmaßnahmen im Bereich der industriellen KWK und den Umfang des aus diesen Anlagen in das Netz der allgemeinen Versorgung eingespeisten KWK-Stroms sowie
- in Bezug auf die kleinen BHKW-Anlagen (deren Minderungswirkungen aber immer begrenzt sein werden) bestehen.

Absehbar wird die erst die umfassende Verfügbarkeit der Datenbasis des BAFA den Umfang und den Erfassungsgrad der Analysen deutlich verbessern können.

Für einen wichtigen Kern des KWKG - die Modernisierung von KWK-Anlagen im Bereich der öffentlichen Versorgung - liegen mit der VKU-Umfrage belastbare Ergebnisse vor, die (einschließlich der CO_2-Minderung durch den in den KWK-Anlagen erzeugten Kondensationsstrom) ein CO_2-Minderungsvolumen in einer Größenordnung von ca. 3,2 Mio. t selbst noch im Jahre 2010 erwarten lassen.

Zusätzlich dazu kann über den Zubau von kleinen KWK-Anlagen, der einen Minderungsbeitrag von nur 0,66 Mio. t CO_2 erwarten lässt, so dass die Wirkungen des KWKG in Bezug auf zusätzliche Emissionsminderungen ein Volumen von ca. 4 Mio. t CO_2 nicht übersteigen werden. Gleichzeitig ist jedoch darauf hinzuweisen, dass die – bisher nicht quantifizierbaren – Effekte des KWKG zur Bestandssicherung der KWK-Stromerzeugung, also auch zur Sicherung der in der Vergangenheit durch KWK erzielten CO_2-Minderungsbeiträge nicht vernachlässigbar sind.

Die gesamte zusätzliche Emissionsminderung von knapp 4 Mio. t CO_2 ist zu spiegeln an den mit dem Gesetz verfolgten Zielwerten einer Emissionsminderung rund 5 Mio. t im Jahre 2005 und von 10 bis 11,5 Mio. t im Jahre 2010. Schon jetzt ist erkennbar, dass das Ziel für 2010 so deutlich verfehlt wird, dass spätestens nach der im KWK-Gesetz in § 12 vorgesehenen Zwischenüberprüfung Ende 2004 eine Novellierung notwendig sein wird.[91] Im Kontext der Zwischenüberprüfung wird dann auch die bereits erwähnte EU-Richtlinie zur Kraft-Wärme-Kopplung eine gewisse Rolle spielen können.

---

[91] Dazu heißt es im letzten Satz des § 12 Abs (1) des KWK-Gesetzes:
„(1) .... Sollten nach dem Ergebnis der Zwischenüberprüfung die genannten Ziele und Vorgaben nicht erreicht werden, sind von der Bundesregierung geeignete Maßnahmen zur Zielerreichung vorzuschlagen.“

3.9 **Erneuerbare Energien** (DIW Berlin)

3.9.1 Einleitung

Erneuerbare Energien sollen künftig weltweit stärker genutzt werden. Sie können die Abhängigkeit von erschöpfbaren und zudem regional konzentrierten fossilen Energieträgern vermindern und vor allem zur Verringerung von Umweltbelastungen beitragen. Nicht zuletzt aufgrund ihrer Potenziale zur Reduktion von Treibhausgasemissionen sind sie - neben Maßnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs - ein wesentliches Element einer nachhaltigen Energieversorgung.

Die Nutzung erneuerbarer Energiequellen besteht im Wesentlichen aus der direkten oder indirekten Umwandlung von Sonnenenergie in elektrische Energie, Wärme oder Brenn- bzw. Treibstoffe. In Deutschland stehen bisher Wasserkraft, Biomasse und zunehmend auch Windenergie im Vordergrund, während die direkte Nutzung von Sonnenenergie, Umweltwärme und Geothermie gegenwärtig noch kaum energiewirtschaftlich zu Buche schlägt. Langfristig könnten erneuerbare Energien auch in Deutschland einen Großteil des Energiebedarfs decken. Bisher sind viele Systeme jedoch noch mit relativ hohen Kosten verbunden, so dass ein verstärkter Ausbau nur mit Hilfe unterschiedlicher Fördermaßnahmen erfolgen kann.

In den folgenden Kapiteln wird ausgehend von politischen Zielen und dem gegenwärtigen Stand der Nutzung erneuerbarer Energiequellen in Deutschland untersucht, wie die bisherigen Fördermaßnahmen wirken, welche Rolle erneuerbare Energien künftig spielen könnten und welcher längerfristige Handlungsbedarf hierfür besteht.

3.9.2 Politische Ziele zur stärkeren Nutzung erneuerbarer Energien

Der Anteil erneuerbarer Energien soll weltweit „dringend substanziell erhöht“ werden. Dieses allgemeine Ziel ist auf dem Weltgipfel für nachhaltige Entwicklung (World Summit on Sustainable Development), der 2002 in Johannesburg stattgefunden hat, von den Vertretern der Staatengemeinschaft bestätigt worden.[92] Viele Länder und die Europäische Union haben sich mittlerweile konkrete Ziele für den Ausbau erneuerbarer Energien und speziell für die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien gesetzt.

---

[92] Dabei konnte man sich allerdings nicht auf konkrete Ziele einigen. Die EU-Staaten wollen den Anteil erneuerbare Energien weltweit bis 2010 von gegenwärtig 13 auf 15 % erhöhen. Dieser Vorschlag wurde jedoch von den USA und der OPEC abgelehnt.

In der Europäischen Union soll nach dem Weißbuch „Energie für die Zukunft: Erneuerbare Energien“ (EU 1997) bis 2010 eine Verdopplung des Anteils erneuerbarer Energien am gesamten Energieverbrauch auf 12 % erreicht werden. Dieses Ziel wird in der am 27.10.2001 in Kraft getretenen „Richtlinie 2001/77/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. September 2001 zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt“ (EU 2001) bekräftigt und für den Strombereich konkretisiert. Diese Richtlinie umfasst

- eine Reihe von Erwägungsgründen zur Förderung der regenerativen Stromerzeugung,
- den Zweck, eine Steigerung des Anteils erneuerbarer Energiequellen an der Stromerzeugung zu fördern und eine Grundlage für einen entsprechenden künftigen Gemeinschaftsrahmen zu schaffen (Artikel 1),
- Begriffsbestimmungen zu „Strom aus erneuerbaren Energien“ und der Bezugsgröße „Stromverbrauch“ (Bruttoinlandselektrizitätsverbrauch) (Artikel 2),
- Regelungen für nationale Richtziele und entsprechende Berichte der Mitgliedstaaten sowie der Kommission (Artikel 3),
- Förderregelungen (Artikel 4), die sich auf die Bewertung der nationalen Maßnahmen durch die Kommission und einen gegebenenfalls von ihr vorzulegenden Vorschlag zur Schaffung eines gemeinschaftlichen Rahmens beziehen,
- die Gewährleistung und gegenseitige Anerkennung von nationalen Herkunftsnachweisen für Strom aus erneuerbaren Energien (Artikel 5), die gegebenenfalls später harmonisiert werden sollen,
- nationale Berichte zu Verwaltungsverfahren, insbesondere Genehmigungsverfahren (Artikel 6),
- allgemeine Regeln zum Rechtsrahmen für den Netzanschluss (Artikel 7),
- zusammenfassende Berichte der Kommission über die Fortschritte und die Möglichkeiten der Zielerreichung (Artikel 8) und
- eine Verpflichtung der Mitgliedstaaten, erforderliche Rechts- und Verwaltungsvorschriften bis zum 27.10.2003 in Kraft zu setzen (Artikel 9).

Obwohl mit dieser Richtlinie (bisher) weder verbindliche Ziele noch ein Gemeinschaftsrahmen für Förderregelungen formuliert werden, wird allein schon durch das umfangreiche Berichtswesen die politische Absicht zu einer verstärkten Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien rechtlich festgeschrieben.

Im Anhang der Richtlinie werden „Referenzwerte für die nationalen Richtziele der Mitgliedstaaten für den Anteil von Strom aus erneuerbaren Energiequellen am Bruttostromverbrauch bis zum Jahr 2010“ genannt. Um für die Gemeinschaft einen Anteil von 22 % zu erreichen,

sind unter Berücksichtung der jeweiligen nationalen Besonderheiten für die Mitgliedstaaten Anteile zwischen 5,7 % (Luxemburg) und 78,1 % (Österreich) vorgesehen. Für Deutschland wird ein Referenzwert von 12,5 % genannt.

Die Bundesregierung hat in ihrem Klimaschutzprogramm vom 18.10.2000 (BMU 2000) das Ziel formuliert, den Anteil erneuerbarer Energien bis 2010 zu verdoppeln und danach eine weitere drastische Erhöhung des Anteils unter Beteiligung aller Akteure zu bewirken. Das Ziel, den Anteil erneuerbarer Energien am gesamten Energieverbrauch bis 2010 mindestens zu verdoppeln, ist auch bereits im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG 2000) verankert.

Im Dritten Nationalbericht der Bundesregierung an die Vertragsstaatenkonferenz gemäß der Klimarahmenkonvention (BMU 2002c) ist das Ziel genannt, „den regenerativen Anteil am Stromverbrauch von 6,25 % im Jahr 2000 ... auf 12,5 % bis 2010 zu steigern ... Nach 2010 soll dieser Anteil weiter deutlich vorangebracht werden. Bis Mitte des Jahrhunderts sollen erneuerbare Energien rund die Hälfte des Energieverbrauchs decken. Daraus ergeben sich zwischen 2010 und 2050 liegende Orientierungswerte.“ (ebenda, S. 72).

Die Langfristziele zur stärkeren Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland werden auch in der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung (2002) hervorgehoben, wobei betont wird, dass zugleich der Energieverbrauch insgesamt reduziert werden muss, um eine solche Entwicklung zu erreichen. Die Rolle erneuerbarer Energien wird auch dadurch unterstrichen, dass ihr Anteil am Energieverbrauch einen von insgesamt 21 Schlüsselindikatoren für eine nachhaltige Entwicklung bilden soll.

Im Koalitionsvertrag von SPD und Bündnis 90/DIE GRÜNEN (SPD, Grüne 2002) haben die Regierungsparteien die Ziele des Klimaschutzprogramms bekräftigt und dabei die Bedeutung der stärkeren Nutzung erneuerbarer Energiequellen betont. Das Ziel, die Anteile erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch und am Stromverbrauch in Deutschland von 2000 bis 2010 zu verdoppeln, wurde bestätigt und es wurde beschlossen, hierzu das Erneuerbare Energien Gesetz und die Förderpolitik weiterzuentwickeln.

Speziell werden im Koalitionsvertrag auch Ziele zum Ausbau der Windenergienutzung auf See genannt; so soll im Offshore-Bereich eine Windkraftleistung von mindestens 500 MW bis zum Jahr 2006 und von 3 000 MW bis 2010 erreicht werden. Dazu wird die zeitliche Befris-

tung im EEG angepasst (verlängert). Darüber hinaus wird „die Bundesregierung ... das EEG überprüfen und dabei die Förderhöhe technologiebezogen degressiv anpassen“.

Im Wärmebereich soll die Förderung erneuerbarer Energien verstetigt werden. Dabei wird die Aufstockung der Mittel im Marktanreizprogramm fortgeschrieben (auf 200 Mio. Euro 2004, 220 Mio. Euro 2005 und 230 Mio. Euro 2006). Speziell wird das Ziel formuliert, die Solarkollektorfläche von 2002 bis 2006 zu verdoppeln.

Weiterhin soll das internationale Engagement Deutschlands im Bereich erneuerbarer Energien fortgesetzt und verstärkt werden (Programm zur Förderung erneuerbarer Energien in Entwicklungsländern mit 500 Mio. Euro verteilt über fünf Jahre, Verstärkung der Exportinitiative Erneuerbare Energien, Durchführung einer Internationale Konferenz, Schaffung einer Internationalen Agentur für erneuerbare Energien).

Ziele der Bundesregierung zur Nutzung erneuerbare Energien in Deutschland

- Verdopplung des Anteils am Primärenergieverbrauch von 2000 bis 2010;
  bis 2050 soll der Anteil auf rund 50 % erhöht werden.
- Verdopplung des Anteils am Stromverbrauch von 2000 bis 2010 (auf 12,5 %).
- Windkraftanlagen auf See mit mindestens 500 MW im Jahr 2006 und 3 000 MW 2010.
- Verdopplung der Fläche von Solarkollektoren von 2002 bis 2006.

3.9.3 Bisherige Nutzung erneuerbarer Energien

In den Primärenergiebilanzen spiegelt sich der Beitrag erneuerbarer Energien im Verbrauch von Wasserkraft, Windkraft und sonstigen Energieträgern wider, die zum großen Teil aber nicht vollständig den erneuerbaren Energien zugerechnet werden. Der Anteil dieser Energieträger am Primärenergieverbrauch hat sich in Deutschland von 1,2 % im Jahr 1990 auf 3,6 % im Jahr 2003 verdreifacht (Abbildung 3.9-1). Gegenwärtig liegt der Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch bei 3,1 %. Bei diesen Angaben sind die Konventionen der Energiebilanzen zu berücksichtigen (siehe Kasten).

Erneuerbare Energien in den Energiebilanzen

Für die Bewertung der Stromerzeugung in Wasserkraft-, Windkraft- und Photovoltaikanlagen wird entsprechend dem Vorgehen der internationalen Organisationen von 1995 an das so genannte Wirkungsgradprinzip angewendet. Der Energieeinsatz wird hierbei (anders als bei der Kernenergie) der erzeugten elektrischen Energie gleichgesetzt (Wirkungsgrad von 100 %). Daraus ergibt sich in der Primärenergiebilanz jeweils ein geringerer Beitrag als nach dem Substitutionsprinzip, das weiterhin bei der Stromerzeugung aus Müll, Klärschlamm und anderen erneuerbaren Brennstoffen angewendet wird.

In den Energiebilanzen wurden bis einschließlich 1994 unter den originären erneuerbaren Energieträgern nur Brennholz, Wasserkraft und Klärgas sowie - bei entsprechender Zuordnung - Klärschlamm, Müll u.ä. ausgewiesen, weil die übrigen erneuerbaren Energieträger von der amtlichen Statistik nur teilweise erfasst werden. Seit 1995 werden die erneuerbaren Energieträger in der Energiebilanz zu drei Gruppen zusammengefasst, die in einer Satellitenbilanz detaillierter ausgewiesen werden:

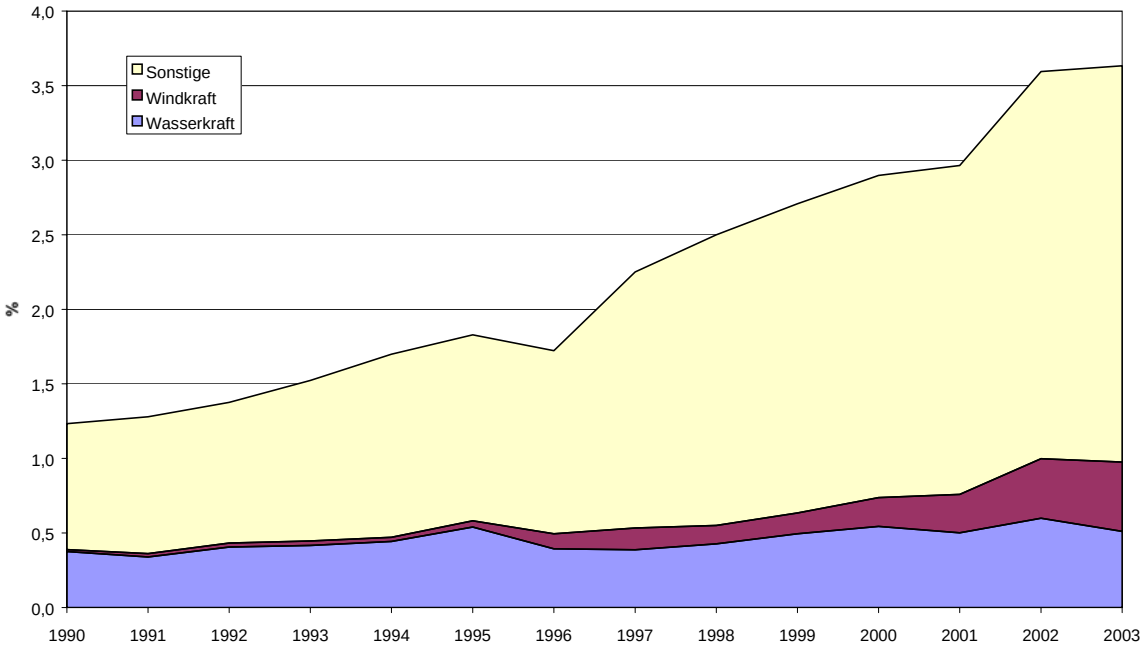
- Wasser, Wind, Photovoltaik
- Biomasse und Abfälle: Holz (Rohholz, Industrierestholz, Lese- und Abfallholz), Stroh und andere feste biogene Stoffe, Biodiesel und andere flüssige biogene Stoffe, Klärgas* einschließlich Biogas, Müll, Klärschlamm, Deponiegas,
- Sonstige erneuerbare Energieträger: Geothermie, Solarthermie, gasbetriebene Wärmepumpen, strombetriebene Wärmepumpen.

Anders als vorher sind ab 1995 in den Angaben die Kleinwasserkraftanlagen (unter 1 MW Leistung) enthalten. Die Daten zur Stromerzeugung aus Windkraft- und Photovoltaikanlagen beruhen auf Angaben der VDEW; sie sind höher als die Angaben nach der amtlichen Statistik. Die Angaben zum Verbrauch von Brennholz sind aufgrund neuerer Marktforschungsergebnisse gegenüber den Vorjahren erneut deutlich angehoben worden.

Datenquellen und Bewertungsfragen (insbesondere zum Müll) werden derzeit in einer Arbeitsgruppe mit dem BMU abgestimmt.

* Klärgas (einschl. Biogas) wird in den Auswertungstabellen den Naturgasen zugerechnet.

Abbildung 3.9-1 Anteil von Windkraft, Wasserkraft und sonstigen Energieträgern am Primärenergieverbrauch in Deutschland von 1990 bis 2003



Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (vorl. Angaben), Berechnungen des DIW.

Innerhalb der erneuerbaren Energieträger hat bisher die feste Biomasse den größten Anteil, wobei der größte Teil hiervon als Brennholz in Haushalten eingesetzt wird. Der Rest entfällt im Wesentlichen auf Wasserkraft und - in zunehmendem Maße - auf Windkraft. Dagegen schlagen andere erneuerbare Energien wie Umgebungswärme, Solarthermie und Geothermie bisher kaum in der Energiebilanz zu Buche. Während der Anteil der Wasserkraft im letzten Jahrzehnt (witterungsbereinigt) nur wenig zugenommen hat, haben sich die Anteile sowohl von Biomasse als auch von Windkraft am Primärenergieverbrauch kräftig erhöht.

Die folgenden Angaben über die Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland zur Stromerzeugung und zur Bereitstellung von Wärme und Brennstoffen beruhen auf Angaben des BMU und der Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energien Statistik. Dabei werden ab 2003 auch Schätzungen für den biogenen Anteil von Abfall vorgenommen.

Der wachsende Beitrag erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung geht aus Tabelle 3.9-1 und Tabelle 3.9-2 hervor.

Tabelle 3.9-1 Installierte Leistung zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien

	Wasserkraft	Windenergie	Biomasse	Photovoltaik	Summe
	MW				
1990	4403	56	190	2	4651
1998	4601	2875	409	52	7937
1999	4547	4444	448	67	9506
2000	4572	6112	585	111	11380
2001	4600	8754	825	179	14358
2002	4620	12001	900	262	17783
6/2003	4620	12828	1000	300	18748

Quelle: BMU (2003), Berechnungen des DIW.

Tabelle 3.9-2 Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien

	Wasserkraft	Windenergie	Biomasse[1]	Photovoltaik	Summe
	GWh				
1990	15908	40	222	1	16171
1998	19215	4489	1050	37	24791
1999	21798	5528	1170	48	28544
2000	25141	9500	1625	71	36337
2001	23570	10456	3785	116	37927
2002	23824	15856	4467	176	44323
2003*	20350	18500	5140	332	44322

1 Bis 2000 nur Einspeisung, ohne biogenem Abfall (2003: 1945 GWh)
* Vorläufige Schätzung
Quellen: BMU (2003), AGEE-Statistik (Febr. 2004), Berechnungen des DIW.

Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien (ohne Abfall) hat sich von 16,2 TWh im Jahr 1990 auf 44,3 TWh im Jahr 2002 fast verdreifacht. Nach vorläufigen Schätzungen hat sie sich 2003 in der Summe gegenüber dem Vorjahr nicht geändert. Unter Berücksichtigung der Stromerzeugung aus biogenem Abfall betrug die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien 2003 46 267 TWh. Am Bruttostromverbrauch haben erneuerbare Energien damit einen Anteil von knapp 8 % erreicht. Dabei haben sich die einzelnen Energieträger unterschiedlich entwickelt.

Bei der *Wasserkraft* haben sich die Zahl und Leistung der größeren Wasserkraftanlagen, die zumeist von EVU betrieben werden, in den letzten Jahren nur wenig geändert. Es sind zwar zahlreiche Anlagen anderer Betreiber hinzugekommen; diese haben allerdings an der gesamten Leistung und Stromerzeugung nur einen geringen Anteil. Im Jahr 2000 hatte sich diese

Erzeugung zwar auf gut 25 TWh erhöht, dies war allerdings nahezu vollständig auf die Witterung zurückzuführen ist. Witterungsbereinigt lag die Stromerzeugung bei gut 20 TWh. Wasserkraft war 2003 noch der bedeutendste erneuerbare Energieträger für die Stromerzeugung.

Besonders stürmisch hat sich die Nutzung von *Windkraft* entwickelt, die in Deutschland im (besonders windschwachen) Jahr 2003 mit 18,5 TWh einen Anteil am Stromverbrauch von 3,2 % erreicht haben dürfte. Nach Angaben des DEWI gab es Ende 2003 in Deutschland 15 387 Anlagen mit einer Gesamtleistung von 14 609 MW. Nach dem Rekordzuwachs im Jahr 2002 sind im Jahr 2003 insgesamt 1703 Anlagen mit einer Leistung von 2645 MW hinzugekommen (unter Berücksichtigung von Abbau und Repowering, vgl. DEWI, Januar 2004). Der potenzielle Jahresenergieertrag des Anlagenbestandes im Normaljahr von etwa 27 TWh überschreitet die Größenordnung der Wasserkraft. Die installierte Leistung hat sich gegenüber 1998 bis Ende 2002 vervierfacht und bis Ende 2003 verfünffacht.

Auch bei der *Photovoltaik* sind hohe Wachstumsraten zu verzeichnen – allerdings auf wesentlich geringerem Niveau der Leistung und Stromerzeugung. Gegenüber 1998 hat sich die Leistung bis Ende 2003 mehr als versechsfacht. Dies ist auf das Zusammenwirken von EEG und 100 000-Dächer-Solarstrom-Programm zurückzuführen. Die Stromerzeugung der Photovoltaikanlagen in Deutschland hat sich 2003 auf gut 0,3 TWh oder 0,06 % des Bruttostromverbrauchs erhöht.

Während die gesamte *Biomasse* am Primärenergieverbrauch bisher der bedeutendste erneuerbare Energieträger ist, hat sie an der Stromerzeugung einen geringeren Anteil und rangiert mit etwa 4,5 TWh im Jahr 2002 deutlich hinter Wasser- und Windkraft. Unter Berücksichtigung von biogenem Abfall lag die Stromerzeugung aus Biomasse im Jahr 2003 bei 7,1 TWh oder 1,2 % des Bruttostromverbrauchs.

Aufgrund der Vergütungsregelungen (EEG, Biomasseverordnung) wird in den kommenden Jahren mit einem weiteren Wachstum vor allem bei Anlagen mit einer Größe von knapp 20 MWel gerechnet IE (2002). Neben fester und gasförmiger Biomasse wird auch flüssige Biomasse (Pflanzenöl, RME) in einigen wenigen (stationären) Anlagen zur Stromerzeugung eingesetzt; in IE (2002) werden realisierte Beispiele genannt, und es wird auf derzeit noch offene Fragen hingewiesen.

Die geothermische Stromerzeugung befindet sich in Deutschland im Versuchsstadium (Neustadt-Glewe).

In Tabelle 3.9-3 ist die Entwicklung der Nutzung erneuerbarer Energien in den Bereichen Wärme und Kraftstoffe dargestellt.

Tabelle 3.9-3 Erneuerbare Energien für Wärme und Kraftstoff

	Biomasse[1]	Solarthermie	Geothermie[2]	Biodiesel	Summe
	PJ				
1998	162,0	3,1	3,0	3,7	171,8
1999	162,0	3,7	3,1	4,8	173,7
2000	183,6	4,6	3,5	12,7	204,4
2001	187,2	5,9	3,6	16,8	213,4
2002	192,1	7,0	3,8	20,5	223,4
2003*	194,3	8,9	5,4	24,2	232,8

* Vorläufige Angaben
1 Ohne biogenem Abfall (2003: 10,2 PJ)
[2] 2003 tiefe und oberflächennahe Geothermie
Quellen: BMU (2003), AGEE-Statistik (Febr. 2004).

Die Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien beruht danach überwiegend auf dem Einsatz von *Biomasse*, wobei die feste Biomasse dominiert. Der Einsatz von Biomasse im Wärmebereich ist von 1998 bis 2002 um knapp 19 % gestiegen. Einschließlich biogenem Abfall waren es 2003 rund 205 PJ. Zusätzlich sind im Jahr 2003 über 24 PJ als Biodiesel (RME) für den Verkehrsbereich bereitgestellt worden; dies ist mehr als sechsmal soviel wie 1998.

Ein kräftiges Wachstum zeigt sich auch bei *solarthermischen Anlagen*. Trotz des Markteinbruchs konnte im Jahr 2002 die gesamte Kollektorfläche auf 4,8 Mio. m² erhöht werden. Im Vergleich zu 1998 hatte sich die solarthermische Kollektorfläche in Deutschland damit mehr als verdoppelt. Nach einer starken Zunahme des Ausbaus dürften Ende 2003 insgesamt 5,5 Mio. m² installiert gewesen sein. Der Energiebeitrag wird auf 8,9 PJ geschätzt.

Zur Wärmeversorgung trägt daneben auch *geothermische Energie* bei. Nach Angaben des BMU hat sich ihr Beitrag von 1998 bis 2002 um rund ein Fünftel auf 3,8 PJ erhöht. Einschließlich oberflächennaher Geothermie lag ihr Beitrag 2003 bei 5,4 PJ.

Insgesamt ergibt sich für 2003 ein Beitrag erneuerbarer Energien (einschließlich biogenem Abfall) im Bereich Wärme und Kraftstoffe von 243 PJ und in der Stromerzeugung von 46,3 TWh oder 167 PJ. Dabei ist allerdings zu beachten, dass in der Stromerzeugung spezifisch mehr Energieeinsatz substituiert wird als im Wärme- bzw. Kraftstoffbereich.

3.9.4 CO_2-Einsparung durch erneuerbare Energien

Der Beitrag erneuerbarer Energien zur CO_2-Einsparung hängt davon ab, welche Energietechniken und Energieträger durch die einzelnen regenerativen Systeme substituiert werden. In Tabelle 3.9-4 sind hierbei die Emissionsfaktoren aus BMU (2003) zugrunde gelegt worden.[93]

Durch die Nutzung erneuerbarer Energien sind danach in Deutschland im Jahr 2003 insgesamt CO_2-Emissionen in Höhe von 53 Mio. t vermieden worden. Hieran hat die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien mit 37 Mio. t den größten Anteil, während im Wärmebereich 14,3 Mio. t und durch biogene Kraftstoffe 1,6 Mio. t eingespart werden.[94] Im Vergleich zu 1998 hatte sich die CO_2-Einsparung durch erneuerbare Energien im Jahr 2002 insgesamt um 19 Mio. t oder 61 % erhöht; dies beruht im Wesentlichen auf der Zunahme der regenerativen Stromerzeugung.

Tabelle 3.9-4 CO_2-Einsparung durch erneuerbare Energien in Deutschland

	Strom	Wärme	Kraftstoff	Summe
	Mio. t CO2			
	Einsparung insgesamt			
1998	19,8	11,0	0,3	31,1
1999	22,8	11,1	0,3	34,2
2000	29,1	12,6	0,9	42,5
2001	30,3	12,9	1,1	44,4
2002	35,5	13,3	1,4	50,1
2003	35,5	13,7	1,6	50,8
2003*	37,0	14,3	1,6	53,0
	Einsparung gegenüber 1998			
1999	3,0	0,1	0,1	3,1
2000	9,2	1,6	0,6	11,4
2001	10,5	1,9	0,9	13,3
2002	15,6	2,3	1,1	19,0
2003	15,6	2,7	1,4	19,7
Emissions-faktor	0,800 kg/kWh	0,066 kg/MJ	0,067 kg/MJ	

* Einschl. Stromerzeugung aus biogenem Abfall.
Quellen: BMU (2003), AGEE-Statistik, Berechnungen des DIW.

[93] Für den Strombereich wird hier die mittlere Variante (IIII) aus BMU (2003) verwendet.

3.9.5 Bisherige Maßnahmen und deren Wirkungen

3.9.5.1 Rückblick auf frühere Maßnahmen (vor 1998)

Die Nutzung erneuerbarer Energiequellen wird in Deutschland seit vielen Jahren durch zahlreiche Maßnahmen unterschiedlicher Akteure gefördert. Diese Maßnahmen beziehen sich generell auf Forschung, Entwicklung und Demonstration neuer Techniken, auf ökonomische Anreize zu deren Markteinführung oder auf den Abbau institutioneller Hemmnisse. Zu den politischen Akteuren zählen neben dem Bund auch die Europäische Union und vor allem die Bundesländer sowie die Kommunen. Zur beschleunigten Markteinführung erneuerbarer Energien sind im Rahmen von zahlreichen Programmen vor allem Zuschüsse und zinsverbilligte Kredite gewährt worden. Dabei haben sich die Fördervolumina und –modalitäten stark von Land zu Land unterschieden. Nachdem sich die Aktivitäten auf Bundesebene anfänglich vor allem auf den Bereich Forschung und Entwicklung konzentriert hatten, haben in den neunziger Jahren auch hier Hilfen zur Markteinführung an Bedeutung gewonnen, wobei die Regelungen zur Stromeinspeisung hervorzuheben sind.

Die Förderung erneuerbarer Energien ist ein wesentliches Element der deutschen Klimaschutzpolitik. Schon im Ersten Nationalbericht der Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland BMU (1994) bezog sich ein Großteil der dort genannten (insgesamt 109) Maßnahmen (zumindest unter anderem) auf erneuerbare Energien. Hierzu zählen u.a.[95]

- Stromeinspeisungsgesetz von 1990
- Förderprogramm für Erneuerbare Energien (Richtlinien von 1993, 1994 und 1995)
- ERP-Umwelt- und Energiesparprogramm
- Information über die Nutzung erneuerbarer Energien
- 4. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes
- Forschung und Entwicklung zur Nutzung erneuerbarer Energien
- 1000-Dächer-Photovoltaik-Programm
- 250-MW-Wind-Programm
- Solarthermie 2000

---

[94] In der Strombewertungsvariante I (Erzeugungsmix einschl. Kernenergie) ergibt sich im Jahr 2003 für die Stromerzeugung eine CO_2-Einsparung von 26,7 Mio. t und für die gesamte Nutzung erneuerbarer Energien eine Einsparung von 42,6 Mio. t.

[95] Die Wirkungen dieser Maßnahmen sind in der Untersuchung Politikszenarien I (Ziesing u.a. 1997) erläutert und soweit möglich hinsichtlich ihres Beitrags zur CO_2-Verminderung quantifiziert worden.

- Forschung und Entwicklung zur Nutzung der Solartechnik
- Forschung und Entwicklung zu Sekundärenergiesystemen
- Modellversuch Wärme- und Stromerzeugung aus nachwachsenden Rohstoffen
- Gemeinschaftsaufgabe Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes (GAK)
- Flächenstilllegungsprämie
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR)
- Forschung, Entwicklung und Demonstration im Bereich Nachwachsende Rohstoffe
- Förderung erneuerbarer Energien in der Landwirtschaft
- Geothermie (Projektförderung)
- Steuerbefreiung von Rapsmethylester
- Technische Anleitung Siedlungsabfall
- Investitionsprogramm des BMU zur Verminderung von Umweltbelastungen
- KfW-Umweltprogramm
- DtA-Umweltprogramm der Deutschen Ausgleichsbank
- Fachinformation
- Privilegierung erneuerbarer Energien im Baugesetzbuch
- Vereinheitlichung der Genehmigungspraxis

Diese Maßnahmen sind auch im Zweiten Nationalbericht (BMU 1997) als bisherige oder laufende Aktivitäten aufgeführt. Darüber hinaus werden dort u.a. die folgenden Maßnahmen genannt, die für erneuerbare Energien relevant sind:[96]

- Selbstverpflichtungserklärung der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge
- 4. Energieforschungsprogramm
- „50 000-Dächer-Solarinitiative“ der DtA aus dem DtA-Umweltprogramm (geförderte Maßnahmen: Solarthermische Anlagen, Photovoltaikanlagen, Wärmepumpen, Biomasse-Anlagen, Biogas-Anlagen, Geothermische Anlagen).
- Eigenheimzulage für Niedrigenergiehäuser
- Programm Solaroptimiertes Bauen
- Grubengasnutzung im Steinkohlenbergbau

[96] Als weitere, geplante Maßnahmen enthält der Zweite Nationalbericht u.a. die Einführung einer EU-weiten aufkommensneutralen CO_2-/Energiesteuer, die Stärkung der Belange erneuerbarer Energien im Baugesetzbuch und die Vereinheitlichung der Genehmigungspraxis für Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien.

Mit Hilfe der genannten Maßnahmen auf Bundesebene und der Förderaktivitäten anderer Akteure (insbesondere der Bundesländer) ist die Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland bis 1998 vorangetrieben worden. Diese Maßnahmen wirken insgesamt direkt oder indirekt über das Jahr 1998 hinaus: So wirken sich die ordnungsrechtlichen Maßnahmen (z.B. im Baurecht) auch auf gegenwärtige und künftige Projekte aus. Frühere finanzielle Fördermaßnahmen (z.B. Darlehen) wirken nicht nur bei laufenden Projekten weiter, sondern strahlen aufgrund der dabei gesammelten Erfahrungen indirekt auch auf künftige Vorhaben aus. Gerade Forschung und Entwicklung sowie Verbesserungen der Informationsgrundlagen wirken längerfristig. Auch durch die angestoßenen Marktentwicklungen sind Systeme zur Nutzung erneuerbarer Energien verbessert und häufig billiger geworden.

Außerdem sind ab 1998 die früheren Maßnahmen zum Großteil fortgesetzt und verstärkt worden. Dies gilt insbesondere für die finanzielle Förderung auf Bundesebene durch Darlehen und Zuschüsse sowie für die Vergütung für die Netzeinspeisung aus erneuerbaren Energien (die zunächst weitergegolten hatte und im Jahr 2000 durch das EEG ersetzt wurde). Eine isolierte Betrachtung der seit 1998 ergriffenen Maßnahmen ist aus diesen Gründen nur mit Einschränkungen möglich.

3.9.5.2 Aktuelle Maßnahmen (seit 1998)

3.9.5.2.1 Überblick

In diesem Abschnitt werden die Maßnahmen betrachtet, mit denen die Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland im Zeitraum 1998 bis 2002 gefördert worden ist. Dabei stehen drei Maßnahmen im Vordergrund:

- 100 000-Dächer-Solarstrom-Programm (HTDP, seit Anfang 1999)
- Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG, seit April 2000), Biomasseverordnung (seit Juni 2001)
- Marktanreizprogramm (MAP, seit September 1999)

Darüber hinaus sind auf Bundesebene folgende Maßnahmen zu nennen, mit denen zum Teil bisherige Förderansätze fortgesetzt oder ergänzt werden:

- KfW-CO_2-Sanierungsprogramm
- Ökozulage für Eigenheime
- Förderung der Beratung zur rationellen Energieverwendung und erneuerbaren Energien

- DBU-Programme, z.B. Solarenergie für Kirchen
- ERP-Umwelt- und Energiesparprogramm
- DtA-Umweltprogramm
- KfW-CO_2-Minderungsprogramm
- BMU-Programm zur Förderung von Demonstrationsvorhaben
- Förderung nachwachsender Rohstoffe z.B. im Agrarinvestitionsförderprogramm

Hinzu kommen

- die Forschungsförderung des Bundes im Bereich erneuerbarer Energien
- Programme der EU wie ALTENER II (bis 2002), Save II (bis 2002) und das 5. EU-Rahmenprogramm (1999-2002),
- diverse Förderprogramme der Bundesländer und
- sonstige Initiativen, z.B. Solarkampagne 2000 (Solar – na klar!, 1999-2002), Initiative Solarwärme plus.

Im Folgenden werden insbesondere die erstgenannten Maßnahmen beschrieben und ihre Wirkungsweise erläutert.

3.9.5.2.2 100 000-Dächer-Solarstrom-Programm (HTDP)

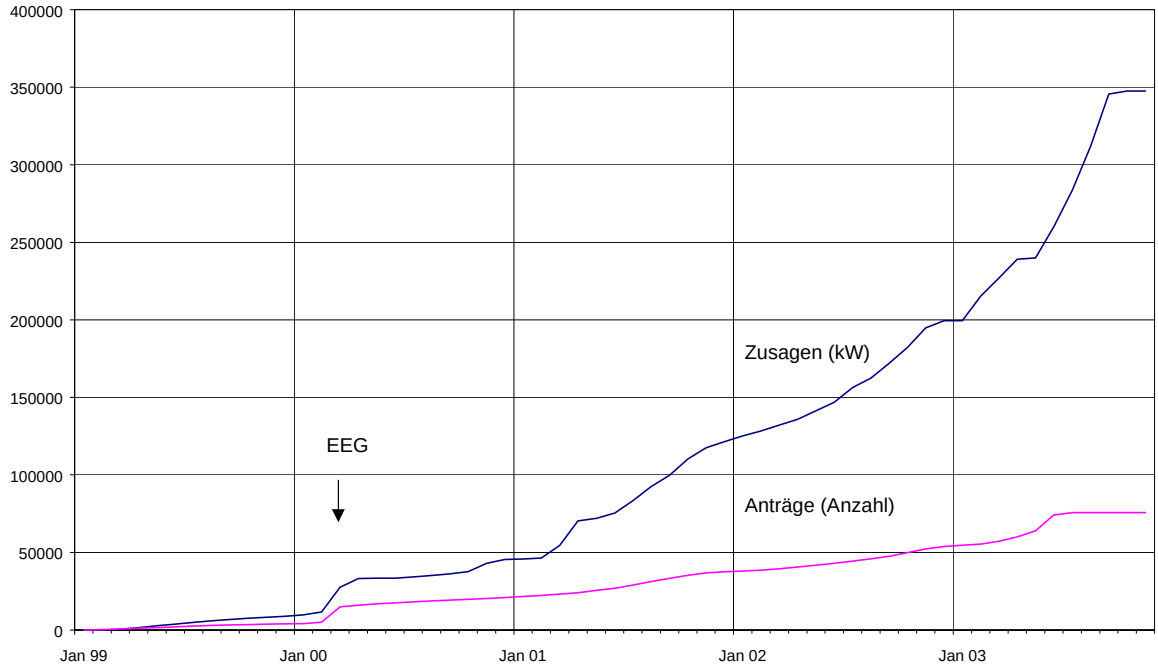
Das 100 000-Dächer-Solarstrom-Programm wird seit Jahresbeginn 1999 von der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) zusammen mit dem BMWi durchgeführt. Im Rahmen dieses Programms werden Photovoltaikanlagen ab einer Leistung von 1 kW gefördert. Insgesamt soll hiermit eine Leistung von 300 MW gefördert werden. Die gewährten Darlehen (mit einer Laufzeit von 10 Jahren) waren anfänglich zinslos, und es bestand die Möglichkeit eines Restschulderlasses von 2 Raten; alternativ konnte der Barwert der Zinssubvention auch als Zuschuss ausgezahlt werden, wobei ebenfalls ein Restschulderlass in Anspruch genommen werden konnte. Die effektive Subvention lag damit über 37 % der Kosten (Stoltenberg, KfW 1999).

Trotz dieser Konditionen, lief das Programm im Jahr 1999 zunächst nur schleppend an (Abbildung 3.9-2 und Tabelle 3.9-5). Im ersten Programmjahr wurden 3522 Anlagen mit einer Leistung von 9 MW gefördert, während für diesen Zeitraum ursprünglich 18 MW vorgesehen waren (Oppermann 2002). Zu einer kaum mehr zu bewältigenden Antragsflut kam es aber, als im Jahr 2000 die Vergütungsregelung des Stromeinspeisungsgesetzes durch die des EEG (anfänglich 99 Pf/kWh) ersetzt wurde.

Die Fördermodalitäten sind mehrmals geändert worden. Nach der Richtlinie vom April 2002 gelten folgende Bedingungen: Gefördert werden Photovoltaik-Anlagen auf baulichen Flächen ab einer neu installierten Spitzenleistung von 1 kW. Antragsberechtigt sind Privatpersonen, freiberuflich Tätige sowie kleine und mittlere gewerbliche Unternehmen. Der Zinssatz für Darlehen mit einer Laufzeit von bis zu 10 Jahre wird um 4,5 % verbilligt (auf 1,9 %)[97]. Die Auszahlung beträgt 100 %. Der Finanzierungsanteil ist bis 5 kW auf 6 230 Euro je kW begrenzt; der darüber hinausgehende Leistungsanteil auf 3 115 Euro je kW. Andere öffentliche Mittel in Form von Förderkrediten, Zulagen oder sonstigen Zuschüssen werden auf den Finanzierungsanteil angerechnet. Maximal 2 Jahre sind tilgungsfrei.

Bei solchen Förderbedingungen beläuft sich der Barwert der Zinssubvention bei Anlagen bis 5 kW auf rund 23 % des Darlehensbetrages. Bezogen auf die Investition ist dieses Zuschussäquivalent bei kleinen Anlagen allerdings etwas geringer (bei 7000 Euro/kW etwa 20 %). Bei Anlagen über 5 kW sinkt der Förderanteil mit zunehmender Anlagengröße.

Abbildung 3.9-2 Entwicklung des 100 000-Dächer-Solarstrom-Programms



Quelle: KfW

[97] Im ergänzenden KfW-Sonderprogramm Photovoltaik gelten höhere Zinssätze bei ansonsten gleichen Konditionen (abgesehen von der Möglichkeit einer 50%igen Haftungsfreistellung).

Zinsgünstige Darlehen verbessern nicht nur die Rentabilität der Investition, sondern erleichtern generell auch den Zugang zum Kreditmarkt. Angesichts der hohen Kosten der Photovoltaik wäre die Anreizwirkung einer alleinigen Förderung durch ein solches Programm jedoch begrenzt. Auch bei einer gleichzeitigen Vergütung nach dem Stromeinspeisungsgesetz mussten die Investoren erhebliche Zusatzkosten selbst tragen. Für die Entwicklung der Photovoltaik war vor allem die erhöhte Vergütung nach dem EEG ausschlaggebend, die zusammen mit dem 100 000-Dächer-Programm in etwa eine einzelwirtschaftliche Rentabilität ermöglicht.

Tabelle 3.9-5 Kennzahlen zur Entwicklung des 100 000-Dächer-Solarstrom-Programms

		1999	2000	2001	2002	2003	Summe
Anträge	Anzahl	3922	17090	16589	16294	21825	75720
Zusagen	Anzahl	3522	7819	19325	15194	19887	65747
Zusagen	Mio. Euro	52	203	416	393	655	1719
PV-Leistung	MW	9	37	76	78	148	348
Zusagen ohne nachträglich Verzichte per 30.11.2003 Quelle : KfW							

Bis Ende 2002 waren im Rahmen dieses Programms (Netto-) Zusagen für knapp 200 MW gewährt worden. Diese Leistung ermöglicht einen (potenziellen) Stromertrag von 170 GWh/a bzw. einen CO_2-Minderungseffekt von 0,1 Mio. t/a.

Bis Ende November 2003 haben sich die Anzahl der Zusagen auf 65 747, das kumulierte Volumen der Zusagen auf 1,7 Mrd. Euro und die Gesamtleistung auf 348 MW erhöht. Diese Leistung wird eine Erzeugung von rund 300 GWh/a ermöglichen. Dem entspricht ein CO_2-Minderungseffekt von 0,2 Mio. t/a. In Abhängigkeit von der Lebensdauer der Anlagen wirkt dieser direkte Effekt bis zum Jahr 2020 und zum Teil noch darüber hinaus. Es ist allerdings zu beachten, dass der hiermit geförderte Ausbau der Photovoltaik (in stärkerem Maße) auf dem Zusammenwirken mit dem EEG beruht und zur Vermeidung von Doppelzählungen dort zugerechnet wird.

Für das 100 000-Dächer-Programm ist kein Nachfolgeprogramm vorgesehen. Der weitere Ausbau der Photovoltaik stützt sich auf das EEG, das Ende 2003 entsprechend angepasst worden ist.

3.9.5.2.3 Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)

Bis Anfang 2000 ist die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien durch das Stromeinspeisungsgesetz von 1990 (geändert 1994 und 1998) gefördert worden. Danach bestand eine durch Härteklausel begrenzte Pflicht der Stromversorger zur Abnahme von Strom aus erneuerbaren Energiequellen und Mindestvergütung in Abhängigkeit vom Durchschnittserlös der EVU aus der Stromabgabe an Letztverbraucher.

Das 1990 mit breiter politischer Unterstützung in Kraft getretene Stromeinspeisungsgesetz hat der regenerativen Stromerzeugung in Deutschland – und dabei vor allem der Windkraftnutzung – einen wesentlichen Impuls gegeben. Wichtige Gründe für die Neufassung der Einspeisungsregelungen waren zum einen Auseinandersetzungen über hohe Belastungen für einzelne Unternehmen. Zum anderen hatte die zunehmende Liberalisierung zu Senkungen der Strompreise und damit der Vergütungssätze geführt; außerdem drohte der doppelte Fünf-Prozent-Deckel den weiteren Ausbau der regenerativen Stromerzeugung in Deutschland zu beschränken.

Das Stromeinspeisungsgesetz ist durch das Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG) vom März 2000 abgelöst worden. Es folgt vom Grundkonzept her dem Stromeinspeisungsgesetz, enthält aber eine Reihe von Änderungen, mit denen Nachteile der bisherigen Regelungen vermieden werden:

- Mit dem neuen Gesetz wird die (doppelte) Begrenzung der Einspeisung auf 5 % aufgehoben.
- Von den Mindestvergütungen können auch Anlagen von Energieversorgungsunternehmen profitieren, die hiervon vorher ausgeschlossen waren.
- Die Mindestvergütungen sind als feste, von den Strompreisen unabhängige Beträge vorgegeben. Dabei sind technikspezifische Differenzierungen, Begrenzungen und Degressionen berücksichtigt worden. Die Vergütungssätze sind zum Teil vor allem für Strom aus solarer Strahlungsenergie wesentlich erhöht worden.
- Durch einen bundesweiten Belastungsausgleich werden überproportionale Belastungen einzelner Unternehmen bzw. Stromabnehmer in bestimmten Regionen vermieden. Dabei wird auch die Abnahmepflicht im Sinne flexibler Quoten weitergereicht.
- Außerdem ist die Frage der Verteilung von Netzanschluss- und Netzverstärkungskosten klarer geregelt worden.

Das EEG verpflichtet zunächst die Netzbetreiber, Anlagen zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien an ihr Netz anzuschließen, den Strom aus diesen Anlagen vorrangig ab-

zunehmen und mindestens die festgesetzten Vergütungssätze zu zahlen. Eine wesentliche Neuerung gegenüber dem früheren Stromeinspeisungsgesetz stellt die bundesweite Ausgleichsregelung dar, die aus mehreren Stufen besteht: Der vorgelagerte Übertragungsnetzbetreiber muss die vom Netzbetreiber aufgenommene Energiemenge abnehmen und vergüten. Die Übertragungsnetzbetreiber müssen die Energiemengen und Vergütungszahlungen jährlich untereinander ausgleichen, bis sie gleiche Anteile an der an Letztverbraucher abgegebenen Energiemenge erreichen. An Letztverbraucher liefernde EVU sind ihrerseits verpflichtet, den Strom anteilig abzunehmen und zu vergüten.

Die Regelungen für die Mindestvergütungen des EEG enthalten vielfältige Differenzierungen, Begrenzungen und Degressionen (Tabelle 3.9-6). Abgesehen von Photovoltaik und Windkraft erfolgt eine Staffelung nach der Anlagengröße, wobei für die Anlagen der größeren Kategorie jeweils Leistungsanteile berechnet werden. Bei der Windenergie wird die höhere Vergütung mindestens 5 Jahre gezahlt. Dieser Zeitraum verlängert sich in Abhängigkeit vom erreichten Stromertrag in Relation zum Referenzertrag der jeweiligen Anlage, wodurch für Anlagen an ungünstigeren Standorten länger die höhere Vergütung angewendet wird.[98] Strom aus Offshore-Anlagen, die bis Ende 2006 in Betrieb genommen werden, wird 9 Jahre lang mit dem höheren Satz und danach mit dem niedrigeren Satz vergütet.

Tabelle 3.9-6 Vergütungen nach dem EEG in Abhängigkeit vom Inbetriebnahmejahr

		EEG			*StromEG*
		2000/2001	2002	Degression	*2000*
		Cent je kWh		%/a	*Cent je kWh*
Wasserkraft,	bis 500 kW	7,67	7,67	0	*7,3*
Deponie-, Klär-, Grubengas[1]	500 kW bis 5 MW	6,65	6,65	0	*6,0*
Biomasse	bis 500 kW	10,23	10,1	1	
	500 kW bis 5 MW	9,21	9,1	1	*7,3*
	5 MW bis 20 MW	8,70	8,6	1	*0,0*
Geothermie	bis 20 MW	8,95	8,95	0	*0,0*
	über 20 MW	7,16	7,16	0	*0,0*
Windkraft	mind. 5 Jahre	9,10	9,0	1,5	*8,2*
	danach	6,19	6,1	1,5	
Photovoltaik		50,62	48,1	5	*8,2*

1) Die Leistungsgrenze von 5 MW gilt nicht für Grubengas. Grubengas fiel nicht unter das Stromeinspeisungsgesetz.

[98] Der Referenzertrag einer Windkraftanlage wird berechnet aus der Leistungskennlinie und der Nabenhöhe. Für den Referenzstandort gelten folgende Festlegungen: Rayleigh-Verteilung der Windgeschwindigkeit, mittlere Windgeschwindigkeit von 5,5 m/s in 30 m Höhe, logarithmisches Höhenprofil mit einer Rauhigkeitslänge von 0,1 m. Die Verlängerung des Zeitraums, in dem die höhere Vergütung bezahlt wird, ergibt sich aus der Formel (150 % – Ertrag/Referenzertrag · 100 %) / 0,75 % · 2 Monate.

Die Mindestvergütungen sind für neu in Betrieb genommene Anlagen jeweils für die Dauer von 20 Jahren ohne Berücksichtigung des Inbetriebnahmejahres zu zahlen (ausgenommen Wasserkraftanlagen). Für Altanlagen gilt als Inbetriebnahmejahr das Jahr 2000.

Die Vergütungssätze für Strom aus Biomasse-, Windkraft- und Photovoltaikanlagen werden (beginnend mit dem Jahr 2002) in Abhängigkeit vom Inbetriebnahmejahr kontinuierlich gesenkt (Degression). So errechnet sich z.B. für Photovoltaikanlagen, die im Jahr 2020 in Betrieb genommen werden, theoretisch eine Vergütung von 19 Cent je kWh (VDN 2002 a).

Nach § 8 EEG gilt die Vergütungsregelung für Photovoltaikanlagen nur bis zu dem Jahr, in dem eine Gesamtleistung von 350 MW erreicht wird, und für das darauf folgende Jahr. Diese Regelung war mit dem 100 000-Dächer-Programm abgestimmt, das einen Ausbau um 300 MW vorgesehen hat. Im Juni 2002 hat der Deutsche Bundestag eine Erhöhung der Gesamtleistung von 350 auf 1000 MW beschlossen.

Im Vergleich zum Stromeinspeisungsgesetz ist durch das EEG die Vergütung von Solarstrom sehr stark (auf das Sechsfache) erhöht worden (vgl. Tabelle 3.9-6). Dadurch ist der Anreiz zur Errichtung von Photovoltaikanlagen gegenüber der früheren Regelung wesentlich verstärkt worden. Dagegen liegen die anderen Vergütungssätze des EEG in ähnlicher Größenordnung wie vorher. Bezogen auf das Jahr 2000 ist die Vergütung von Strom aus Wasserkraft, Deponie- und Klärgas durch die Neuregelung um bis 11 % gestiegen. Auch für Windstrom ergibt sich zunächst eine leichte Erhöhung, die in den kommenden Jahren allerdings durch das Referenzertragsmodell und die Degression kompensiert wird. Bei der Biomasse liegen die anfänglichen Vergütungssätze immerhin um 26 bis 40 % über denen des Stromeinspeisungsgesetzes; außerdem ist hier der Größenbereich begünstigter Anlagen erweitert worden.

Für die Verstromung von Biomasse ist die Biomasseverordnung vom Juni 2001 von Bedeutung. Sie geregelt, welche technischen Verfahren zur Stromerzeugung aus Biomasse in den Anwendungsbereich des EEG fallen und welche Umweltanforderungen dabei einzuhalten sind.

Zum EEG ist alle 2 Jahre ein Erfahrungsbericht über Markt- und Kostenentwicklungen zu erstellen. Der erste Bericht ist im Juni 2002 vorgelegt worden (Bundesregierung 2002a).

Die Wirkungsweise des EEG besteht - wie beim früheren Stromeinspeisungsgesetz - grundsätzlich darin, dass für Betreiber von Anlagen zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren

Energien ein Netzanschluss erleichtert und für einen langen Zeitraum eine feste Vergütung vorgegeben wird. Daraus ergibt sich ein hohes Maß an Planungssicherheit für den Investor. Durch die degressive Gestaltung der Vergütungssätze wird ein Anreiz zu Kostensenkungen gegeben, gleichzeitig aber auch ein Anreiz, Projekte frühzeitig zu realisieren. Mit den nach Energiearten und Anlagengrößen differenzierten Vergütungssätzen sowie dem Referenzertragsmodell bei der Windenergie erfolgt eine grobe Orientierung an den unterschiedlichen Erzeugungskosten und damit eine Begrenzung von Mitnahmeeffekten oder Überförderungen.

In den unterschiedlichen Technikbereichen sind die folgenden Erfahrungen gemacht worden:

- Bei der *Photovoltaik* ist aufgrund des Zusammenwirkens von EEG und 100 000-Dächer-Solarstrom-Programm ein starker Ausbau zu beobachten, der auch mit gewissen Kostensenkungen verbunden ist. Trotz der hohen EEG-Vergütung für Photovoltaikstrom werden dadurch allein die Stromerzeugungskosten nicht gedeckt. Auch unter gleichzeitiger Inanspruchnahme des HTDP kann häufig keine Amortisation erreicht werden. Aufgrund der Degression (-5%/a) könnte die Förderwirkung künftig abnehmen, wenn nicht entsprechende Kostensenkungen erzielt werden.
- Die Entwicklung der *Windenergie* in Deutschland ist entscheidend durch die Vergütungsregelungen hervorgerufen worden, wobei auch hier Finanzierungserleichterungen flankierend gewirkt haben. Das Referenzertragsmodell trägt tendenziell den Differenzen der Stromerzeugungskosten bei unterschiedlichen Standortqualitäten Rechnung, so dass auch Anlagen in weniger windgünstigen Gebieten wirtschaftlich attraktiv sind. Während Standorte an Land – insbesondere in windgünstigen Gebieten – schon zu einem Großteil genutzt werden, ist der Offshore-Einsatz von Windkraftanlagen noch in Vorbereitung. Um frühzeitig richtige Signale zu setzen, soll die bisher bis 2006 befristete Sonderregelung für den Offshore-Bereich verlängert werden (vgl. Koalitionsvertrag).
- Die Nutzung von *Biomasse zur Stromerzeugung* umfasst einen sehr heterogenen Bereich, sowohl hinsichtlich der (festen, gasförmigen und flüssigen) Brennstoffe als auch hinsichtlich der möglichen Umwandlungstechniken. Während die Verstromung von flüssiger Biomasse noch unbedeutend ist, hat die sich die Bedeutung von Biogasanlagen durch EEG und MAP erhöht. Die Biomasseverordnung 2001 hat zahlreiche Vorhaben zur Verstromung fester Biomasse in größeren Anlagen ausgelöst. Für kleinere Anlagen zur Verstromung von Holz und kleinere Biogasanlagen sind die Kosten derzeit in der Regel höher

als die Vergütungssätze. Es kommt hinzu, dass die künftige Preisentwicklung für Biobrennstoffe ungewiss ist.

- Die Potenziale der *Wasserkraft* werden in Deutschland bereits zu einem großen Teil genutzt. Der Neubau von kleinen Anlagen verursacht - auch naturschutzbedingt – relativ hohe Kosten. Durch das EEG werden allerdings auch Anreize gegeben, bestehende Anlagen zu modernisieren bzw. zu revitalisieren.
- Auch die Nutzung von *Klär- und Deponiegas* profitiert von den Vergütungsregelungen des EEG. Die zusätzlich ausschöpfbaren Potenziale sind hier allerdings eher gering. Dies gilt ähnlich auch für *Grubengas* im Steinkohlenbergbau, das zunehmend verstromt wird.
- *Geothermische Stromerzeugung* gibt es bisher in Deutschland kaum. Derzeit werden acht F&E-Vorhaben durch das BMWi und das BMU unterstützt. Ein wirtschaftlicher Betrieb wäre bei den gültigen Vergütungssätzen wohl noch nicht möglich. Grundsätzlich erschweren die Bohrrisiken eine verlässliche Kalkulation.

Die nach dem EEG vergüteten Stromeinspeisungen betrugen nach der Jahresabrechnung 2002 (VDN 2003) insgesamt 25,0 Mrd. kWh; davon entfielen allein 63,5 % auf Windkraft und 26,7 % auf Wasserkraft u.a. (Tabelle 3.9-7). Es wurden Vergütungen in Höhe von 2,21 Mrd. Euro oder 8,87 Cent je kWh gezahlt. Bezogen auf die Stromabgabe an Letztverbraucher ergab sich hieraus eine EEG-Quote von 5,33 % und eine Bruttobelastung von 0,47 Cent je kWh.

Tabelle 3.9-7 Vergütungen für Stromeinspeisungen 1998 bis 2002

		StrEG		EEG		
		1998	1999	2000	2001	2002
Einspeisungen						
Wasserkraft u.a.[1]	Mio. kWh	1571	1659	5487	5909	6665
Biomasse	Mio. kWh	805	846	780	1393	2294
Geothermie	Mio. kWh	0	0	0	0	0
Windkraft	Mio. kWh	4365	5390	7550	10456	15856
Photovoltaik	Mio. kWh	12	15	38	60	148
Gesamt	Mio. kWh	6753	7910	13855	17818	24963
EEG-Quote	%			3,01	3,89	5,33
Bezugsgröße	Mio. kWh			459551	458115	468321
Vergütungen						
Gesamt	Mrd. Euro	0,55	0,64	0,88	1,54	2,21
Durchschnittl. Vergütung	Cent/kWh	8,16	8,08	8,50	8,64	8,87

1 Gemäß EEG-Statistik einschließlich Deponie-, Klär-, Grubengas
Quellen: Staiß (2001), VDN (2003), Berechnungen des DIW.

Nach der Prognose des Verbands der Netzbetreiber VDN werden für das Jahr 2003 (gerundet) eine Quote von 6,3 % und eine Durchschnittsvergütung von 8,9 ct/kWh erwartet.

Mit dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz wird die Anreizwirkung des Stromeinspeisungsgesetzes im Wesentlichen fortgesetzt und zum Teil verstärkt. Neben der Änderung der Vergütungsregelungen sind vor allem der mit dem neuen Ausgleichsmechanismus ermöglichte Wegfall der früheren Deckelung und die Öffnung für fast alle Betreiber von Bedeutung. In den kommenden Jahren wird dadurch insbesondere die weitere Nutzung von Windenergie und Biomasse vorangetrieben und deren energiewirtschaftliche Bedeutung erhöht. Besonders hohe Zuwachsraten bewirkt das EEG bei der Photovoltaik; allerdings wird ihr Stromerzeugungsbeitrag auch nach einer Ausschöpfung der erhöhten Deckelung (1000 MW) noch unter 1 Mrd. kWh liegen.

Das EEG ist im Jahr 2003 zweimal geändert worden:

- Mit der ersten Änderung ist eine Härtefallregelung eingeführt worden, die es einzelnen besonders stromintensiven Unternehmen des produzierenden Gewerbes ermöglicht, ihre Belastung durch das EEG zu begrenzen.

- Mit der zweiten Änderung (Vorschaltgesetz vom Dezember 2003) ist die Vergütung für Solarstromanlagen geändert worden, um insbesondere das Auslaufen des 100 000-Dächer-Programms zu kompensieren.

Die neuen Mindestvergütungssätze gelten für Photovoltaik-Anlagen, die ab dem 1. Januar 2004 in Betrieb genommen werden. Die Grundvergütung für Solarstrom beträgt 45,7 ct je kWh; dies gilt auch für große Freiflächenanlagen, soweit sie sich im Bereich eines Bebauungsplans befinden. Für Solaranlagen auf Gebäuden erhöht sich die Vergütung um 11,7 ct je kWh für eine Leistung bis 30 kW, um 8,9 ct je kWh für den darüber hinaus gehenden Anteil bis 100 kW und um 8,3 ct je kWh für den 100 kW übersteigenden Anteil. Zusätzlich gibt es einen Bonus von 5 ct je kWh bei fassadenintegrierten Anlagen. Die Mindestvergütungen werden beginnend mit dem 1.1.2005 jährlich für jeweils ab diesem Zeitpunkt in Betrieb genommene Anlagen um 5 % gesenkt.

Das Bundeskabinett hat am 17. Dezember 2003 den Entwurf einer *Novelle des EEG* beschlossen. Damit soll das Ziel verfolgt werden, den Anteil erneuerbarer Energien an der Stromver-

sorgung bis 2010 auf mindestens 12,5 % und bis 2020 auf mindestens 20 % zu erhöhen. Hinsichtlich der Mindestvergütungen sind folgende Änderungen vorgesehen:

- Bei der Vergütung für Strom aus Windenergie an Land wird der untere Vergütungssatz im Jahr 2004 gegenüber 2003 um 0,5 auf 5,5 ct je kWh gesenkt. Dies soll eine mögliche Überförderung an sehr guten Standorten vermeiden. Der obere Vergütungssatz wird um 0,1 auf 8,7 ct je kWh gesenkt. An windschwachen Standorten wird die Vergütung beschränkt (ab 65 % des Referenzertrags). Die Degression für neue Anlagen wird von bisher 1,5 % auf 2 % erhöht.

- Für Strom aus Windenergie auf See soll ein oberer Satz von 9,1 ct je kWh für eine Dauer von mindestens 12 Jahre gelten, die abhängig von der Entfernung zur Küste (0,5 Monate je sm jenseits 12 sm) und der Wassertiefe (1,7 Monate je m jenseits 20 m) verlängert wird. Die Regelung gilt für Offshore-Anlagen, die bis 2010 in Betrieb gehen (bisher 2006). Die Degression für Anlagen auf See beginnt mit dem Jahr 2008.

- Bei der Vergütung für Strom aus Biomasse wird eine neue Leistungsstufe bei 150 kW mit einer höheren Vergütung von 11,5 ct pro kWh eingeführt. Für nachwachsende Rohstoffe erhöhen sich die Vergütungssätze um einen 2,5 ct pro kWh, soweit der Strom ausschließlich aus Pflanzen- und Pflanzenbestandteilen im Sinne der BiomasseV und/oder aus Gülle gewonnen wird. Die Vergütungssätze für Anlagen bis 5 MW erhöhen sich zusätzlich um 1 ct je kWh, soweit der Strom mittels innovativer Techniken gewonnen wird (Brennstoffzellen, KWK). Für neue Anlagen wird eine jährliche Degression von 2 % eingeführt. Die Vergütung soll für Anlagen, die ab 2005 in Betrieb gehen, für einen Zeitraum von 15 Jahren gelten (bis dahin 20 Jahre).

- Für Solarstrom sieht die Novelle die Regelungen des Vorschaltgesetzes vor (s.o).

- Bei der Stromerzeugung aus Geothermie werden neben der Leistungsgrenze von 20 MW weitere Leistungsklassen bei 5 MW und 10 MW mit höheren Vergütungssätzen eingeführt. Anlagen, die vor 2010 in Betrieb gehen, erhalten eine Vergütung von 15 ct je kWh bis 5 MW, 14 ct je kWh bis 10 MW, 8,95 ct je pro kWh bis 20 MW und 7,16 ct je kWh ab 20 MW. Die neu eingeführte jährliche Degression von 1 % gilt für Anlagen, die ab 2010 in Betrieb gehen.

- Strom aus großen Wasserkraftanlagen über 5 MW soll bis zu 150 MW unter bestimmten Voraussetzungen über 15 Jahre nach EEG vergütet werden. Die Anlagen müssen bis Ende 2012 erneuert bzw. erweitert werden, wobei eine Erhöhung des elektrischen Arbeitsvermögens um mindestens 15 % und eine Verbesserung des ökologischen Zustand vorausgesetzt wird. Die Mindestvergütung gilt grundsätzlich nur für den zusätzlichen, durch die Erneuerung hinzu gekommenen Strom.

- Strom aus kleinen Wasserkraftanlagen bis 5 MW wird weiterhin nach EEG vergütet. Für kleine, neu errichtete Anlagen bis 500 kW muss an vorhandenen Staustufen oder Wehren ein guter ökologischer Zustand erreicht werden; Kleinanlagen, die nicht im Zusammenhang mit Staustufen oder Wehren betrieben werden, sollen nur noch unter das EEG fallen, wenn sie bis Ende 2005 genehmigt worden sind. Die Vergütung bis 500 kW beträgt 7,67 ct je kWh und bis 5 MW 6,65 ct je kWh. Es ist künftig eine Degression von 1 % pro Jahr vorgesehen.

- Für neue Anlagen zur Stromerzeugung aus Deponiegas, Klärgas und Grubengas soll ab 2005 eine jährliche Degression von 2 % gelten. Im Jahr 2004 beträgt die Vergütung bis 500 kW 7,67 ct je kWh und bis 5 MW 6,65 ct je kWh. Strom aus Grubengas wird auch oberhalb von 5 MW mit 6,65 ct pro kWh vergütet. Bei Einsatz von Brennstoffzellen erhöhen sich die Vergütungssätze um 1 ct je kWh. Bei Deponiegasanlage, die nach 2006 in Betrieb gehen, wird die bisherige Vergütung auf 15 Jahre begrenzt (vorher 20 Jahre).

Nach diesem Entwurf der EEG-Novelle, über die im Jahr 2004 entschieden wird, verschieben sich die Förderschwerpunkte zwischen und innerhalb der verschiedenen Techniklinien. Während bei der Windenergienutzung an Land die Vergütung insbesondere an windschwachen und an sehr guten Standorten gesenkt wird, werden die Voraussetzungen auf See verbessert. Bei der Wasserkraftnutzung stehen Erhöhungen bei großen Anlagen Verminderungen bei kleinen Anlagen gegenüber. Im Bereich der Biomasseverstromung werden die Sätze vor allem bei kleineren Anlagen zum Teil erhöht, während die Degression verschärft und die Vergütungsdauer reduziert wird. Die Vergütung der geothermischen Stromerzeugung wird im künftig relevanten Bereich kleiner Anlagen erhöht. Die (bereits mit dem Vorschaltgesetz beschlossene) Erhöhung der Vergütung von Solarstrom kompensiert im Wesentlichen das Auslaufen des 100 000-Dächer-Programms, wobei hinsichtlich der Förderwirkung zusätzlich die Deckelung der Gesamtleistung zu beachten ist.

3.9.5.2.4 Marktanreizprogramm (MAP)

Das BMWi hat die Nutzung erneuerbarer Energien seit 1994 durch Förderprogramme unterstützt. Die jährliche Fördersumme lag (für den Wärme- und Strombereich zusammen) bis 1998 bei 10 Mio. Euro. Im Zusammenhang mit der ökologischen Steuerreform, nach der auch regenerativer Strom besteuert wird, hat die Bundesregierung mit Wirkung vom 1.9.1999 ein neues Marktanreizprogramm zur Nutzung erneuerbarer Energien begonnen, das ein jährliches Mittelvolumen von rund 200 Mio. Euro hat.[99]

Die Richtlinien der Förderung haben sich sowohl hinsichtlich der geförderten Techniken als auch der Fördersätze und –voraussetzungen mehrmals verändert. Die Richtlinie vom Dezember 1993 wurde im Dezember 1994 geändert und im August 1995 durch eine neue Richtlinie für den Zeitraum 1995 bis 1998 ersetzt. Nach einer Änderung zum Januar 1997 ist diese Richtlinie im März 1999 in nochmals geänderter Form rückwirkend zum 1.1.1999 verlängert worden. Das neue Marktanreizprogramm ist seit September 1999 nach den Richtlinien vom August 1999, März 2001, Juli 2001 und März 2002 durchgeführt worden. Anfang 2003 ist der Fördersatz für Solarkollektoren (auf 125 Euro/m²) erhöht worden. Ab 1.1.2004 gelten die Richtlinien vom 26. November 2003.

Nach den Richtlinien vom August 1999 sind durch Zuschüsse bzw. Darlehen mit Teilschulderlass gefördert worden: Solarkollektoranlagen, hand- und automatisch beschickte Anlagen zur Verfeuerung fester Biomasse, Biogasanlagen, Wasserkraftanlagen bis 500 kW, Wärmepumpen, die mit Strom aus erneuerbarer Energie betrieben werden, Maßnahmen zur Energieeinsparung an Gebäuden (Wärmeschutz, Wohnungslüftung, Heizanlagenmodernisierung) in Kombination mit Solaranlagen und Wärmepumpen, Geothermieanlagen und Photovoltaik in Schulen. Die Fördersätze waren dabei im Wesentlichen so hoch wie im Vorläuferprogramm.

Die Änderungen in den Richtlinien vom März 2001 betrafen u.a. die Herausnahme der Wärmepumpen aus der Förderung. Zu wesentlichen Einschnitten führten aber die Richtlinien vom Juli 2001: Der Fördersatz für Solarkollektoren wurde gesenkt (von 250 auf 170 DM/m^2). Es entfiel der erhöhte Satz für Vakuumkollektoren und die Förderung der Erweiterung von Solaranlagen. Handbeschickte Anlagen zur Verfeuerung von fester Biomasse wurden nicht mehr

[99] Im Koalitionsvertrag ist für 2004 bis 2006 eine Verstetigung (auf 200, 220 bzw. 230 Mio. Euro) vereinbart worden.

und automatisch beschickte Anlagen mit geringen Sätzen gefördert. Die Förderung von Biogas- und Wasserkraftanlagen wurde auf die Gewährung zinsgünstiger Darlehen ohne Restschulderlass reduziert. Außerdem ist die Förderung kombinierter Energieeinsparmaßnahmen gestrichen worden. Mit den Richtlinien vom März 2002 sind die Fördersätze (in Euro) z.T. etwas angehoben worden; außerdem gibt es für Biogasanlagen wieder eine Regelung zum Teilschulderlass.

Im Einzelnen galten seit März 2002 bis Ende 2003 die folgenden Richtlinien zur Förderung durch a) Zuschüsse, b) durch zinsgünstige Darlehen mit Teilschulderlass und c) durch zinsgünstige Darlehen ohne Teilschulderlass (Tabelle 3.9-8).

Tabelle 3.9-8 Förderung erneuerbarer Energien im Marktanreizprogramm Übersicht zu den Förderrichtlinien vom März 2002

(a) Zuschüsse	
Solarkollektoranlagen*	92 Euro je m^2; höchstens 25 000 Euro
Biomasseanlagen bis 100 kW	55 Euro je kW
Photovoltaikanlagen in Schulen	3 000 Euro je Anlage
(b) Darlehen mit Teilschulderlass	
Biomasseanlagen über 100 kW	55 Euro je kW; höchstens 250 000 Euro
Geothermie	103 Euro je kW; höchstens 1 000 000 Euro
Biogasanlagen bis 70 kW	15 000 Euro
(c) Darlehen ohne Teilschulderlass	
Biogasanlagen über 70 kW	
Wasserkraftanlagen bis 500 kW	
Biomasse-KWK-Anlagen	
* Im Jahr 2003 erhöht auf	125 Euro je m^2

(a) Der Bund fördert über das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) durch Zuschüsse Solarkollektoranlagen und automatisch beschickte Anlagen zur Verfeuerung fester Biomasse und das Programm Photovoltaik in Schulen:

- Gefördert wird die Errichtung von Solarkollektoranlagen, die mit einem Funktionskontrollgerät bzw. Wärmemengenzähler ausgestattet sind, wenn der Kollektor einen Mindestertrag von 350 kWh/m^2 (bei einem solaren Deckungsanteil von 40 % für den Standort Würzburg) hat. Der Zuschuss von zunächst 92 Euro je m^2 (höchstens jedoch 25 000 Euro je Einzelanlage) ist ab Februar 2003 auf 125 Euro je m^2 erhöht worden. Eine Kumulierung mit anderen Zulagen bzw. Zuschüssen ist ausgeschlossen.

- Die Errichtung automatisch beschickter Anlagen zur Verfeuerung fester Biomasse zur Wärmeerzeugung mit einer Wärmenennleistung von 3 kW (Zentralheizung) bzw. 50 kW bis 100 kW wird gefördert, wenn bestimmte Emissionsgrenzwerte eingehalten werden. Der Zuschuss beträgt 55 Euro je kW Wärmeleistung, mindestens jedoch 1 500 Euro bei einem Kesselwirkungsgrad von mindestens 90 %. Eine Kumulierung ist bis auf das Zweifache des Förderbetrags möglich.

Im Rahmen des Programms „Sonne in der Schule“ wird die Errichtung netzgekoppelter Photovoltaikanlagen ab einer Leistung von um 1 kW mit 3 000 Euro je Anlage unterstützt. Es darf dabei nicht zugleich ein Kredit im 100 000-Dächer-Programm beantragt werden. Eine Kumulierung mit anderen Zuschüssen ist bis auf das Zweifache des Förderbetrags möglich.

(b) Darlehen aus Eigenmitteln der KfW und Teilschulderlasse werden gewährt für automatisch beschickte Anlagen zur Verfeuerung fester Biomasse (mit einer Wärmeleistung über 100 kW), Geothermieanlagen und Biogasanlagen. Der Teilschulderlass beträgt

- für die Errichtung automatisch beschickter Anlagen zur Verfeuerung fester Biomasse zur Wärmeerzeugung mit einer Wärmenennleistung von über 100 kW 55 Euro je kW, höchstens jedoch 250 000 Euro je Einzelanlage,
- für die Errichtung von Anlagen zur Nutzung oberflächenferner Geothermie (ohne Bohrrisiko und Wärmeverteilung) 103 Euro je kW Wärmeleistung, höchstens 1 000 000 Euro je Einzelanlage und
- für die Errichtung und Erweiterung von Biogasanlagen zur Stromerzeugung (oder KWK) mit einer elektrischen Leistung bis 70 kW 15 000 Euro je Einzelanlage.

(c) Zinsvergünstigte Darlehen aus Eigenmitteln der KfW (ohne Teilschulderlasse) werden bereitgestellt

- für die Errichtung und Erweiterung von Biogasanlagen zur Stromerzeugung (oder KWK) mit einer elektrischen Leistung von über 70 kW,
- für die Errichtung, Erweiterung und Reaktivierung von Wasserkraftanlagen bis zu einer elektrischen Leistung von 500 kW und
- für die Errichtung von KWK-Anlagen zur Verfeuerung fester Biomasse.

Der Zinssatz für die Darlehen ist für 10 Jahre fest und wird danach neu festgelegt. Ende 2002 hat er nominal 3,85 % p.a. (effektiv 4,49 %) betragen. Finanziert werden bis zu 100 % des Investitionsbetrages bei einer Auszahlung von 96 % und einer Zusageprovision von 0,25 % pro Monat. Die Kreditlaufzeit beträgt maximal 20 Jahre bei höchstens drei tilgungsfreien Anlaufjahren. Es sind bankübliche Sicherheiten wie Grundschulden oder Bürgschaften zu stellen.

Tabelle 3.9-9 Investitionszuschüsse im Marktanreizprogramm

	Mio. Euro
1999	16,8
2000	47,4
2001	133,5
2002	108,1
Quelle: Bundesregierung (2003)	

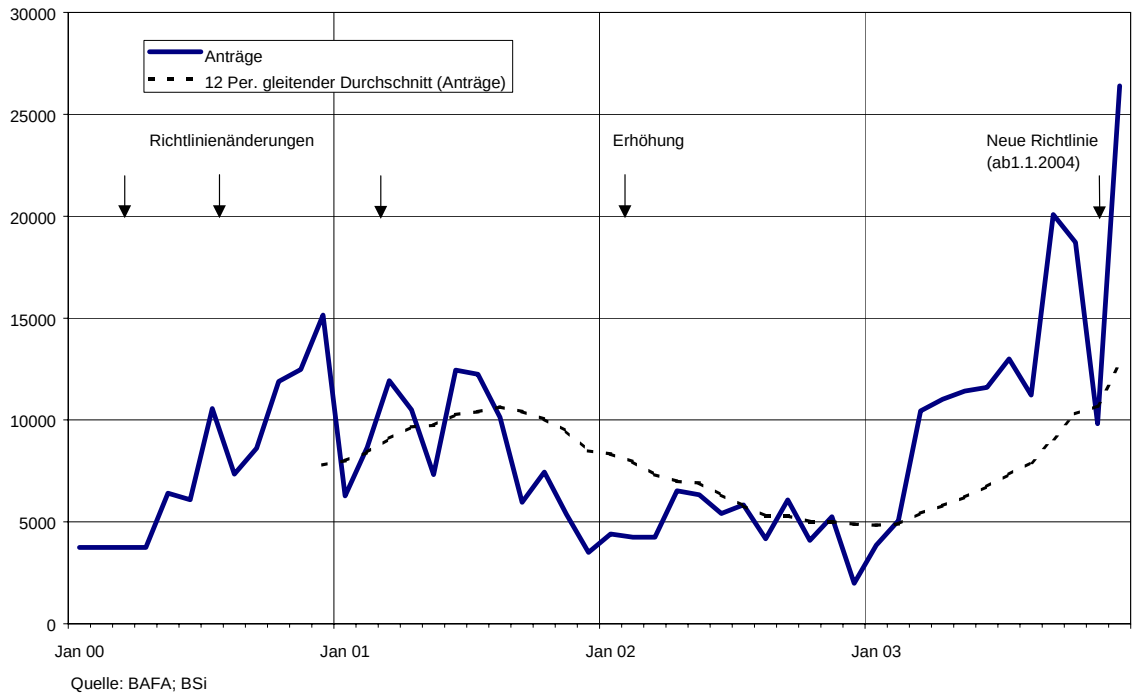
Für das Programm zur Förderung erneuerbarer Energien sind von 1999 bis 2002 Investitionszuschüsse in Höhe von 306 Mio. Euro angefallen (Tabelle 3.9-9).

Tabelle 3.9-10 Kreditzusagen für erneuerbare Energien im Marktanreizprogramm

	1999	2000	2001	2002	Summe
	1000 Euro				
Solarthermie		48	162		210
Feste Biomasse	92	5.645	15.982	18.486	40.205
Biogas	374	26.572	78.015	59.003	163.965
Wasserkraft	4	9.481	4.611	5.997	20.093
Geothermie		118	128		245
Gesamt	470	41.864	98.897	83.487	224.719
Quelle: Bundesregierung (2003)					

Von 1999 bis 2002 sind von der KfW im Rahmen dieses Programms für erneuerbare Energien insgesamt Kredite mit einem Volumen von 225 Mio. Euro zugesagt worden. Dabei handelt es sich überwiegend um die Förderung von Biogasanlagen, auf die 73 % der Darlehenssumme entfällt. Daneben sind die Kredite vor allem für Anlagen zur Verfeuerung fester Biomasse und für Wasserkraftanlagen vergeben worden. Außerdem wurden zwei Geothermieanlagen und drei (große) Solaranlagen im KfW-Teil des Programms gefördert.

Abbildung 3.9-3 Anträge im Marktanreizprogramm 2000 bis 2003



Die Zahl der Anträge für Zuschüsse im Marktanreizprogramm hat sich in den Jahren 2000 bis 2002 unterschiedlich entwickelt (Abbildung 3.9-3). Nach einer starken Zunahme im Jahr 2000 hat sich die Zahl der Anträge im ersten Halbjahr 2001 stabilisiert, ist danach aber deutlich gesunken. Der Verlauf ist zum Teil durch die Änderungen der Richtlinien (März 2001, Juli 2001, März 2002) und der Erhöhung der Förderung für Solarkollektoren ab Februar 2003 geprägt. Darüber hinaus dürften sich (neben dem Saisoneinfluss) die Entwicklung der Heizölpreise und die gesamtwirtschaftliche Entwicklung auf die Nachfrage nach Zuschüssen ebenfalls ausgewirkt haben. Die hohe Antragszahl Ende 2003 dürfte auch mit der neuen Richtlinie in Zusammen stehen, die eine Fördersatzreduktion ab Anfang 2004 enthält.

Tabelle 3.9-11 Beantragte Kollektorfläche im Marktanreizprogramm

	Vakuumröhrenkollektoren		Flachkollektoren		Summe	Durchschnitt
	m²	%	m²	%	m²	m² je Anlage
2000	138.025	18,4	613.235	81,6	751.260	8,0
2001	139.670	16,0	735.849	84,0	875.519	8,6
2002	61.821	11,8	462.238	88,2	524.059	8,9
2003	153.628	10,2	1.352.600	89,8	1.506.228	9,9
Summe	493.144	13,5	3.163.922	86,5	3.657.066	9,0

Quelle: BSi

Um das Ziel der Bundesregierung, die Kollektorfläche in den nächsten vier Jahren zu verdoppeln, zu erreichen, müsste die Kollektorfläche jährlich um rund 1 Mio. m² zunehmen. Nach dem geringen Volumen im Jahr 2002 wurden im Jahr 2003 sogar Zuschüsse für 1,5 Mio. m² Solarkollektoren beantragt (Tabelle 3.9-11). Der Zuwachs im Jahr 2003 wird vom Bundesverband Solarindustrie (BSi) auf 840 000 m² geschätzt.

3.9.5.2.5 Sonstige Maßnahmen

Mit öffentlichen Darlehen werden der Zugang zum Kreditmarkt erleichtert und die Wirtschaftlichkeit der Investition durch Subventionen verbessert. Solche Hilfen sind in der Vergangenheit innerhalb einer Reihe von Programmen gewährt worden, die von der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) und der Deutschen Ausgleichsbank (DtA) durchgeführt worden sind. Hierzu zählen auch die Darlehen der KfW im 100 000-Dächer Solarstrom-Programm und Marktanreizprogramm.

Darüber hinaus sind für die Förderung erneuerbarer Energien von Seiten der *KfW* das CO_2-Gebäudesanierungsprogramm und das CO_2-Minderungsprogramm relevant:

- Das KfW-CO_2-Gebäudesanierungsprogramm ist Teil des Klimaschutzprogramms der Bundesregierung vom Oktober 2000 und fördert vier Maßnahmenpakete, die sich vorwiegend auf Energieeinsparung beziehen; in Betracht kommen aber auch Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energien wie Erdwärmetauscher, Photovoltaikanlagen, Wärmepumpen und die im Marktanreizprogramm genannten Anlagen. Der nominale Zinssatz ist bei diesem Programm mit zur Zeit 2,4 % bei 100%iger Auszahlung besonders attraktiv.

- Daneben wird weiterhin das KfW-CO_2-Minderungsprogramm durchgeführt, mit dem Maßnahmen an selbstgenutzten oder vermieteten Wohngebäuden sowie der Bau von Energiesparhäusern gefördert werden. Einbezogen sind Wärmepumpen, Biomasse, und Biogas-Anlagen, geothermische Anlagen, Wärmetauscher, solarthermische Anlagen und Photovoltaikanlagen. Der nominale Zinssatz für dieses Programm beträgt zur Zeit 3,85 % bei einer Auszahlung von 96 %.

Die *Deutsche Ausgleichsbank* hat Umweltinvestitionen im ERP-Umwelt- und Energiesparprogramm, im DtA-Umweltprogramm, im BMU-Programm zur Förderung von Demonstrationsvorhaben, im DtA-Umweltschutz-Bürgschaftsprogramm (für Hersteller) und im Zusam-

menhang mit dem Hessen-Tender für CO_2-Zertifikate gefördert. Die Nutzung erneuerbarer Energien hat sie insbesondere im ERP-Umwelt- und Energiesparprogramm und im DtA-Umweltprogramm gefördert. Im ERP-Programm können maximal 50 % der Investitionssumme finanziert werden. Es werden Darlehen mit unterschiedlichen maximalen Laufzeiten (10 bis 20 Jahre) zu nominalen Zinssätzen von 5 % (neue Länder 4,75 %) bei 100%iger Auszahlung vergeben. Dieses Programm wird durch das DtA-Umweltprogramm unterstützt, das einen Schwerpunkt auf Investitionen in erneuerbare Energien setzt. In Ergänzung zum ERP-Programm können bis zu 75 % der Investitionen gefördert werden. Die nominalen Zinssätze liegen in Abhängigkeit von der Laufzeit zwischen 4,65 und 5 % bei einer Auszahlung von 96 %.

Im Jahr 2001 sind von der DtA im Umweltbereich Kredite in Höhe von 2,79 Mrd. Euro zugesagt worden. Hiervon entfielen allein auf Windkraftanlagen 1,8 Mrd. Euro (DtA 2002). Einen weiteren Schwerpunkt bilden Biomassekraftwerke, für die im Jahr 2001 0,09 Mrd. Euro als Kredite zugesagt worden sind; hier ist der starke Zuwachs von 65 % gegenüber dem Vorjahr auf die Biomasseverordnung von 2001 zurückzuführen.

Tabelle 3.9-12 Konditionen für KfW- und DtA-Darlehen (Stand: September 2002)

	Laufzeit	tilgungsfrei	Auszahlung	nominal	effektiv
	Jahre	Jahre	%	%	%
KfW					
100.000-Dächer-Programm	10	2	100	1,90	1,91
Marktanreizprogramm	20	3	96	3,85	4,49
KfW-CO2-Minderung	20	3	96	3,85	4,49
KfW-CO2-Gebäudesanierung	20	3	100	2,40	2,42
DtA					
ERP, neue Länder 1	15-20	5	100	4,75	4,84
ERP, alte Länder	10-15	2	100	5,00	5,09
DtA-Umwelt 1	10	2	96	4,50	5,37
DtA-Umwelt 1	20	3	96	4,70	5,39
DtA-Umwelt	15	endfällig	96	5,00	5,64
Umweltschutz Bürgschaft	12	3	100	5,00	5,66
BMU Demonstrationsvorhaben	30	5	100	4,90	4,99

1 Mit Haftungsfreistellung gelten jeweils höhere Zinssätze.
Der Zinssatz ist in allen aufgeführten Darlehen für 10 Jahre festgelegt (Zinsbindung).
Quellen: KfW (2002), DtA (2002).

3.9.5.2.6 Förderung durch die Bundesländer

Die Nutzung erneuerbarer Energiequellen wird in Deutschland auch durch unterschiedliche Programme der Bundesländer gefördert (Tabelle 3.9-13). Von 1991 bis 2001 sind hierfür insgesamt Mittel in Höhe von 1,8 Mrd. Euro eingesetzt worden. Hiervon entfielen 0,4 Mrd. Euro auf Forschung und Entwicklung und 1,4 Mrd. Euro auf die Förderung der Markteinführung. Mit Landesmitteln sind vor allem Biomasse-, Windkraft- und Solarkollektoranlagen gefördert worden. Die gesamten Landesmittel sind bis 1998 (abgesehen von 1996) stetig gestiegen; von 1991 bis 1998 hatten sie sich fast verdoppelt. Danach sind diese Mittel allerdings von Jahr zu Jahr reduziert worden.

Im Jahr 2002 ist die Länder-Förderung insbesondere in Nordrhein-Westfalen und Bayern deutlich auf insgesamt rund 114 Mio. Euro vermindert worden (BMU 2003).

Tabelle 3.9-13 Förderung der Nutzung erneuerbarer Energien durch die Bundesländer 1991 bis 2001

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001p	Summe
	Mio. Euro											
Windenergie	13,2	16,4	40,0	46,7	39,9	27,1	31,0	20,4	14,9	6,4	3,5	259
Wasserkraft	4,9	4,7	8,2	5,8	5,4	3,7	3,8	4,7	3,9	2,2	2,1	49
Sonnenkollektoren	5,7	17,6	22,6	20,4	25,5	31,2	25,4	31,6	23,2	14,0	9,3	227
Photovoltaik	5,4	10,5	8,9	9,9	9,0	14,6	19,6	15,6	19,4	18,7	12,1	144
Biomasse	2,8	7,0	18,0	17,6	38,9	30,6	38,6	37,8	28,2	29,9	30,8	280
Wärmepumpen	1,0	2,8	2,4	2,6	2,4	4,2	2,2	4,2	3,6	6,0	7,6	39
Geothermie	0,5	1,7	2,1	2,8	2,3	3,8	0,2	0,3	0,7	0,1	4,4	19
Beratung und Schulung	1,5	1,7	1,4	1,6	3,2	4,3	6,7	5,1	3,9	3,8	3,1	36
Forschung und Entwicklung	12,5	20,5	28,1	27,0	27,0	21,8	30,0	53,2	53,0	51,8	44,9	370
Sonstige Förderung	49,5	48,4	48,7	46,5	28,0	23,3	26,8	12,4	8,8	3,0	1,9	297
Ohne Zuordnung[1]								3,3	2,7	10,9	19,4	36
Gesamt	96,9	131,4	180,5	180,9	181,6	164,6	184,4	188,4	162,2	147,0	139,1	1757
Gesamt ohne FuE	84,4	110,9	152,4	153,9	154,5	142,8	154,4	135,2	109,3	95,2	94,2	1387

1) Mecklemburg-Vorpommern (1998-2001), Niedersachsen (2000, 2001) und Hessen (2001).
p Haushaltsansatz 2001 ohne Sachsen.
Quellen: Staiß (2001) auf Basis von Angaben des BMWi bis 1998 und von BINE; Berechnungen des DIW.

3.9.5.2.7 Finanzieller Aufwand der Förderung

Der finanzielle Aufwand für die Förderung erneuerbarer Energien besteht zum einen aus Subventionen und anderen öffentlichen Ausgaben der Gebietskörperschaften (z.B. für Forschung) und zum anderen aus freiwilligen oder erzwungenen Mehrausgaben für Energie, insbesondere durch Mindestvergütungen.

Tabelle 3.9-14 Entwicklung der Finanzhilfen und Steuervergünstigungen für Rationelle Energieverwendung und erneuerbare Energien 1970 bis 2002 gemäß dem 18. Subventionsbericht und deren Anteil an den gesamten Subventionen

	Mio. Euro	%
1970	10	0,1
1980	142	1,1
1990	102	0,7
1995	93	0,5
1998	32	0,1
1999	39	0,2
2000	68	0,3
2001a	182	0,8
2002b	124	0,6

a) Soll. - b) Reg.-Entwurf.
Quelle: BMF (2001).

Die im Subventionsbericht (BMF 2001) aufgeführten Finanzhilfen und Steuervergünstigungen für Rationelle Energieverwendung und erneuerbare Energien haben an den gesamten Subventionen des Bundes nur einen geringen Anteil (Tabelle 3.9-14). Nachdem sie von 1980 bis 1998 absolut und (noch stärker) relativ abgenommen haben, sind sie seit 1999 wieder deutlich gestiegen.[100]

In Tabelle 3.9-15 sind die Subventionen für rationelle Energieverwendung und erneuerbare Energien nach den einzelnen Maßnahmen unterteilt. Dabei ist die Förderung der Beratung im wesentlichen der Rationellen Energieverwendung zuzurechnen. Unter den Maßnahmen zur Förderung erneuerbarer Energien hat das Marktanreizprogramm das größte Gewicht, gefolgt vom 100 000-Dächer-Solarstrom-Programm, für das im Jahr 2002 18 Mio. Euro vorgesehen sind. Abnehmende Bedeutung haben die Ausgaben für das 250-MW-Wind-Programm (Antragsschluss 1996). Neben diesen Finanzhilfen werden in geringerem Umfang spezielle Steuervergünstigungen gewährt. Dabei handelt es sich um die auslaufende Ermäßigung der Einkommenssteuer und Körperschaftssteuer auf den Gewinn aus Wasserkraftwerken sowie um die allerdings sehr eingeschränkte Befreiung erneuerbarer Energien von der Stromsteuer.

[100] Die Aufstockung des MAP auf 200 Mio. Euro für 2002 war im Subventionsbericht noch nicht berücksichtigt.

Tabelle 3.9-15 Finanzhilfen und Steuervergünstigungen für Rationelle Energieverwendung und erneuerbare Energien 1999 bis 2002 gemäß dem 18. Subventionsbericht

		1999 Ist	2000 Ist	2001 Soll	2002 Reg.-Entw.	Befristung
		Mio. Euro				
Förderung der Beratung über Möglichkeiten der Energieeinsparung	FH	4,1	4,8	2,6	1,5	31.12.02
Förderung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energie[1]	FH	17,6	48,4	153,4	98,5	15.10.2002[2]
100.000- Dächer-Solarstrom-Programm	FH	-	2,1	16,8	18,0	31.12.03
250- MW-Wind-Programm (Betriebskostenzuschuss)	FH	16,4	11,9	8,1	4,9	31.12.07
Förderung des Baus von Wasserkraftwerken	SV	1	1	1	1	31.12.10
Steuerbefreiung für Strom aus erneuerbaren Energieträgern	SV	.	.	.	.	unbefristet
Summe		39,1	68,2	181,9	123,9	

FH Finanzhilfen, SV Steuervergünstigungen. - 1) Auch Projekte de DEnA. - 2) Im Jahr 2002 verlängert bis 15.10.2003.
Quelle: 18. Subventionsbericht (BMF 2001).

In der Haushalts- und Finanzplanung des BMWi sind für das 100 000-Dächer-Programm im Jahr 2003 25 Mio. Euro vorgesehen; darüber hinaus sind für 2004 bis 2006 hierfür insgesamt 79 Mio. Euro geplant (Tabelle 3.9-16). Für die Förderung erneuerbarer Energiequellen und der rationellen Energienutzung enthält der Plan 230 Mio. Euro für 2003. Hinzu kommen Ausgaben des BMWi für Forschung auf dem Gebiet erneuerbarer Energiequellen in Höhe von 87 bzw. 100 Mio. Euro und zusätzliche Mittel des Zukunftinvestitionsprogramms (ZIP), das durch Zinsersparnisse durch die Erlöse für UMTS-Lizenzen finanziert wird. Im Rahmen des ZIP fördert das BMWi Projekte zu Brennstoffzellen, neuen Antriebstechnologien, Geothermie, Offshore-Windenergie und Altbausanierung. Vom BMU werden mit Mitteln des ZIP F&E-Vorhaben zur geothermischen und solarthermische Stromerzeugung, zu stationären Brennstoffzellen und Bioenergien sowie zur Begleitforschung für Offshore-Windenergie gefördert. Von 2001 bis 2003 werden jährlich ZIP-Mittel in Höhe von rund 50 Mio. Euro eingesetzt (davon 40 Mio. Euro vom BMWi und 10 Mio. Euro vom BMU, vgl. BMU 2002a, Bundesregierung 2003).

Tabelle 3.9-16 Mittel des BMWi für Energieforschung und Rationelle Energieverwendung (Haushalt 2003 und Finanzplan 2004 bis 2006)

	2002	2003	2004	2005	2006
	Mio. Euro				
Forschung:					
Forschung und Entwicklung erneuerbare Energien	94	86,7	100	100	100
Umweltschonende Energieformen (ZIP)	40,9	40,9	15,3	16	
Rationelle Energieverwendung:					
Förderung regenerativer Energiequellen + rationeller Energienutzung	200	230	95	95	95
100.000-Dächer-Programm	18	25	28	25	26

Quelle: BMWi, Einzelplan 09 Regierungsentwurf

Anmerkung: Für die Förderung erneuerbarer Energien sind im Koalitionsvertrag 200 Mio. Euro für 2004, 220 Mio. Euro für 2005 und 230 Mio. Euro für 2006 vereinbart worden (SPD, Grüne 2002).

Die gesamten Mittel des Bundes für Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet erneuerbarer Energien und rationeller Energieverwendung betragen im Jahr 2002 161 Mio. Euro, davon 45 Mio. Euro für die institutionelle Förderung durch das BMBF (BMBF 2002). Tabelle 3.9-17 zeigt, wie sich die die Mittel innerhalb des Programms Energieforschung und Energietechnologien auf die Systeme zur Nutzung erneuerbarer Energien aufteilen. Danach haben die Forschungsmittel für Photovoltaik den größten Anteil.

Tabelle 3.9-17 Mittel des Programms „Energieforschung und Energietechnologien (einschl. ZIP-Mittel) für erneuerbare Energien

	Windenergie	Photovoltaik	Solarthermie	Geothermie	Wasserkraft	Summe
	Mio. Euro					
1991	9,1	53,2	0,1	3,4	0,0	65,8
1992	13,1	56,8	0,3	2,6	0,0	72,8
1993	16,5	57,6	0,4	2,4	0,1	77,0
1994	19,6	33,9	1,6	2,9	0,2	58,2
1995	19,9	29,6	3,5	1,9	0,3	55,2
1996	25,5	30,3	4,8	2,2	0,3	63,1
1997	20,9	25,3	3,7	1,9	0,4	52,2
1998	20,2	34,5	4,1	1,7	0,1	60,6
1999	18,7	28,8	4,1	1,6	0,1	53,3
2000	15,0	37,0	3,4	2,3	0,1	57,8
2001	12,4	29,1	3,7	3,5	0,4	49,1
2002*	14,4	23,6	6,4	9,9	0,1	54,4
Summe	205,3	439,7	36,1	36,3	2,1	719,5

* vorläufig
Quelle: Bundesregierung (2003)

Zusätzlich zu den Aktivitäten von BMWi, BMBF und BMU auf dem Gebiet erneuerbarer Energien unterstützt das BMVEL nicht nur die Forschung im Bereich Nachwachsender Rohstoffe, sondern auch die Markteinführung mit dem Programm biogene Treib- und Schmierstoffe (auf Pflanzenölbasis), für das 10 Mio. Euro pro Jahr bereitgestellt werden. Im Rahmen des seit dem Jahr 2000 laufenden Markteinführungsprogramms werden u.a. Eigenverbrauchstankstellen gefördert.

Neben der Nutzung erneuerbarer Energien im Inland wird von deutscher Seite seit langem auch ihre Nutzung in anderen Ländern gefördert. So werden für den Einsatz von erneuerbaren Energien in Entwicklungsländern in der Initiative Zukunftssicherung durch Klimaschutz des BMZ jährlich 100 Mio. Euro bereitgestellt (BMU 2002a).

Insgesamt werden von Seiten des Bundes Forschung, Entwicklung und Markteinführung erneuerbarer Energien zur Zeit mit rund 0,5 Mrd. Euro pro Jahr gefördert. Hinzu kommen die Fördermittel der Länder, der EU, der Gemeinden und private Aufwendungen.

Anders als Zuschüsse und Forschungsausgaben wirkt sich die Förderung durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) nicht (unmittelbar) auf öffentliche Haushalte aus. Die Mindestvergütung bewirkt im Wesentlichen eine Belastung der Stromverbraucher in Form höherer Strompreise. Der Einspeisungsvergütung von 2,2 Mrd. Euro im Jahr 2002 entspricht im Vergleich zu alternativen Stromkosten von 2 bis 3 Cent je kWh eine Mehrbelastung von 1,5 bis 1,7 Mrd. Euro bzw. 0,31 bis 0,37 Cent je kWh (vgl. auch Böhmer 2002, BET 2002).

Alles in allem werden erneuerbare Energien in Deutschland gegenwärtig im hohen Maße finanziell gefördert. Gemessen am finanziellen Aufwand stehen dabei die Vergütungen für Stromeinspeisungen nach dem EEG im Vordergrund, die angesichts der Marktentwicklung insbesondere bei der Windenergie künftig in der Summe noch wesentlich zunehmen werden.

3.9.6 Künftige Entwicklung mit und ohne Maßnahmen

3.9.6.1 Vorbemerkung

Ausgehend vom Referenzszenario der Enquete-Kommission (2002) wird im Folgenden die Nutzung erneuerbarer Energien in einem Mit-Maßnahmen-Szenario bis 2010 beschrieben. Unter Anrechnung der Wirkungen bisheriger Maßnahmen wird hieraus eine Entwicklung für ein Ohne-Maßnahmen-Szenario abgeleitet, das im Vergleich zur Referenzentwicklung den Politikeffekt ab 1998 widerspiegelt. Die Wirkungen bisheriger Maßnahmen hinsichtlich der

Einsparung von Energieverbrauch und Emissionen werden dabei für das gesamte Maßnahmenbündel quantifiziert, das aus EEG, 100 000-Dächer-Solarstrom-Programm, Marktanreizprogramm und sonstigen ergriffenen bzw. beschlossenen Maßnahmen zur Förderung erneuerbarer Energien besteht. Dabei werden auch die Wirkungen der Fortführung früherer Förderprogramme und des Stromeinspeisungsgesetzes ab 1998 einbezogen. Auf das Jahr 2020 wird ein qualitativer Ausblick auf das Fortwirken der bisherigen Politik gegeben.

3.9.6.2 Erneuerbare Energien im Referenzszenario der Enquetekommission

Das Referenzszenario der Enquete-Kommission (2002) beruht allgemein auf der Prämisse, dass die Liberalisierung der Strom- und Gasmärkte voranschreitet und die bisherige Energiepolitik weiterverfolgt wird (vgl. Kapitel 2). Die detaillierten Annahmen und Ergebnisse sind in IER, WI, Prognos (2002) dargestellt.

Der Szenarienerstellung liegt u.a. die Annahme zugrunde, dass EEG und KWK-G mindestens bis zum Jahr 2010 gelten. Das Referenzszenario beruht allerdings nicht explizit auf definierten Maßnahmenbündeln, sondern auf Modellrechnungen (mit dem TIMES-Modell des IER für Deutschland), wobei Kosten, Potentiale und Mindestmengen für Techniken vorgegeben werden. Die Rahmenannahmen orientieren sich z.T. an der Energieprognose von Prognos, EWI (1999), z.T. aber auch an direkten Vorgaben der Enquetekommission. Für Systeme zur Nutzung erneuerbarer Energien wird langfristig ein erheblicher Rückgang der Investitionskosten (z.B. Photovoltaik um 85 %, Solarthermie um 56 %, Wind onshore um 37 %, Wind offshore um 54 %) unterstellt (in einer Variante 1 werden dagegen insgesamt höhere Kosten regenerativer Systeme angenommen). Aufgrund der noch relativ hohen Kosten regenerativer Systeme hängen die Modellergebnisse im Referenzszenario entscheidend von den exogen vorgegebenen Mindestmengen ab.

Dem Referenzszenario ist ein Mindestanteil erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch (nach Wirkungsgradmethode und einschl. Umgebungswärme) von 3,5 % im Jahr 2010 und von 4,4 % im Jahr 2020 vorgegeben worden. Für die Jahre nach 2010 wurden hierfür keine weiteren Vorgaben gemacht worden.[101] Für Strom aus erneuerbaren Energien wird zusätzlich für das Jahr 2010 ein Mindestanteil am Nettostromverbrauch (einschl. Import) von

[101] Im Nachhaltigkeitsszenario der Enquetekommission erhöht sich der Mindestanteil am Primärenergieverbrauch von 4 % in 2010 auf 50 % in 2050.

8 % vorgegeben. In den folgenden Dekaden steigt dieser Mindestanteil auf 10 %, 15 %, 17,5 %, 20 %.[102]

Implizit wird damit im Referenzszenario der Enquetekommission *angenommen*, dass mit dem EEG bis 2010 ein Stromanteil erneuerbarer Energien von etwa 8 % erreicht wird und damit das Ziel von 12,5 % deutlich verfehlt wird.[103] Auch der vorgegebene Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch liegt mit 3,5 % deutlich unter dem Verdoppelungsziel.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 3.9-18 zusammengefasst. Danach tragen erneuerbare Energien im Jahr 2010 mit 4,3 % zum Primärenergieverbrauch bei, hierin dürften etwa 117 PJ (0,8 %) Müll enthalten sein. Dieser Anteil erhöht sich bis 2030 auf knapp 7 %; erst im Jahr 2050 wird ein Anteil von über 10 % erreicht.

Die regenerative Stromerzeugung beläuft sich im Referenzszenario im Jahr 2010 ohne Müll auf 46,1 TWh; dies entspricht etwa der exogenen Vorgabe von 8 %. Im Jahr 2030 wird der vorgegebene Anteil (von 15 %) insbesondere durch eine Zunahme der Windkraft (auf gut 50 TWh) und der Biomasseverstromung (auf 7,8 TWh) erreicht. Diese Tendenz setzt sich bis 2050 fort, wobei dann aber auch Photovoltaik und geothermische Stromerzeugung wesentliche Beiträge leisten.

Am Endenergieverbrauch erreichen erneuerbare Energien im Referenzszenario im Jahr 2010 einen Anteil von 2,6 %. Dabei überwiegt wie bisher der Einsatz von Biomasse, insbesondere die Verwendung von Brennholz im Haushaltssektor. Der Beitrag von Solarkollektoren und Wärmepumpen verdoppelt sich bis 2010 auf zusammen 29 PJ. Der Anteil erneuerbarer Energien am (abnehmenden) Endenergieverbrauch steigt bis 2030 auf 3,1 % und bis 2050 auf 4,1 %. Dabei nehmen Biomasse und Solarwärme/Umweltwärme absolut gesehen in etwa gleichem Maße zu. Der Einsatz von (importiertem) Biokraftstoff im Verkehr erhöht sich von 8 PJ (2010) auf 22 PJ (2050).

Im Umwandlungssektor werden im Referenzszenario im Jahr 2010 insgesamt 211 PJ Biomasse und Müll eingesetzt. Ohne Müll (s.o.) errechnet sich ein Biomasseeinsatz von 94 PJ. Hiermit werden 3,7 TWh Strom und rund 60 PJ (Fern- oder Nah-) Wärme erzeugt. Solar- und

---

[102] Im Nachhaltigkeitsszenario der Enquetekommission erhöht sich der Mindestanteil am Stromverbrauch von 12,5 % in 2010 auf 50 % in 2050.

[103] Ein Anteil von rund 8 % ist in Deutschland bereits im Jahr 2003 erreicht worden.

Umgebungswärme (Solare Nahwärme, Wärmepumpen, Geothermie) erreichen 2010 im Umwandlungssektor zusammen 4 PJ; dieser Beitrag steigt bis 2030 auf das Zehn- und bis 2050 auf das Sechzigfache.

Tabelle 3.9-18 Erneuerbare Energien im Referenzszenario der Enquetekommission

	1990	1995	1998	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Primärenergieverbrauch in PJ									
Wasserkraft	77	68	62	74	78	81	84	85	86
Windenergie	0	6	17	33	74	96	183	208	225
Biomasse, Müll	126	169	271	233	432	472	511	542	574
Solar, Umgebung	0	9	12	13	33	57	90	168	310
davon PV	0,0	0,0	0,1	0,1	0,6	2,6	5,0	15,5	32,8
Summe	203	252	362	353	617	706	867	1002	1195
Anteil in %	1,4	1,8	2,5	2,5	4,3	5,2	6,8	8,3	10,5
Importsaldo Strom	0	0	0	0	0	8	10	2	0
Gesamt	203	252	362	353	617	714	877	1004	1195
Strombereitstellung in TWh									
Wasserkraft	21,4	18,9	17,3	20,5	21,6	22,5	23,3	23,7	23,9
Windkraft	1,5	3,0	4,5	9,2	20,7	26,8	50,8	57,7	62,5
Photovoltaik	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,7	1,4	4,3	9,1
Biomasse	0,1	0,2	0,2	0,3	2,0	3,6	5,3	6,8	8,2
Biogase	0,6	0,8	0,9	0,9	1,7	2,7	2,5	3,5	4,7
Energiepflanzen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Geothermie	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	1,4	3,9	8,3
Summe Erzeugung	23,6	22,9	22,9	31,0	46,1	56,8	84,7	99,8	116,6
Stromimport	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	2,7	0,4	0,0
Gesamt	23,6	22,9	22,9	31,0	46,1	59,0	87,4	100,2	116,6
Anteil in %	4,7	4,5	4,5	5,8	8,3	10,3	15,3	17,7	21,0
nachr.: Müll (KWK)					5,4	5,7	5,7	5,2	4,8
Endenergieverbrauch in PJ									
Biomasse	86	103	174	167	221	214	241	258	266
Haushalte	65	87	153	152	157	157	157	157	157
Industrie	16	11	14	12	53	45	68	81	85
GHD	5	5	7	3	3	2	2	2	2
Verkehr	0	0	0	0	8	10	14	18	22
Solar, Umgebung	0	9	12	13	29	39	47	54	68
Haushalte	0	9	12	13	27	30	31	34	45
GHD	0	0	0	0	2	9	16	20	23
Summe	86	112	186	180	250	254	289	312	334
Anteil in %	0,9	1,2	2,0	2,0	2,6	2,6	3,1	3,5	4,1
Umwandlung in PJ									
Wasserkraft, Windkraft	77	74	79	107	152	177	267	293	311
Biomasse, Müll	40	66	97	66	211	257	270	283	308
Solar, Umgebung	0	0	0	0	4	18	42	114	242
davon PV	0	0	0	0	1	3	5	15	33
Summe	117	140	176	173	367	452	579	690	861
Import in PJ									
Strom	0	0	0	0	0	8	10	2	0
Biokraftstoff	0	0	0	0	6	10	14	18	22
Summe	0	0	0	0	6	18	24	20	22

Die Angaben zu Wasserkraft und Biomasse, Müll weichen zum Teil von denen in Enqete-Kommission (2002) bzw. IER, WI, Prognos (2002) ab.
Wasserkraft ohne Strom aus Pumpspeicher.
Endenergieverbrauch berechnet aus Sektorangaben.
Umwandlung berechnet als Differenz von Primär- und Endenergieverbrauch.
Quelle: IER (2002), Berechnungen des DIW

Die Ergebnisse der hier nicht dargestellten Variante 1 (alternativer Datensatz) unterscheiden sich nur wenig vom Referenzszenario, zumal jeweils dieselben Quoten vorgegeben werden. Dort sind die Beiträge von Windkraft und Solar-/Umgebungswärme z.T. geringer und die von Biomasse/Müll höher. Der Beitrag erneuerbarer Energien zum Primärenergieverbrauch ist langfristig etwas geringer als im Referenzszenario. Deutlich niedriger ist allerdings - auch langfristig - die geothermische Stromerzeugung.

In den folgenden Abschnitten wird die Entwicklung im Referenzszenario der Enquetekommission bis 2010 detaillierter erläutert und für das Mit-Maßnahmen-Szenario modifiziert.

3.9.6.3 Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien mit und ohne Maßnahmen

Das Referenzszenario der Enquete-Kommission entspricht bei der Stromerzeugung aus erneuerbareren Energien im Jahr 2010 weitgehend der Prognose von Prognos, EWI (1999), wenn auch die Erzeugung aus Windenergie nun höher angesetzt ist (Tabelle 3.9-19). Die Prognose beruhte noch auf dem Stromeinspeisungsgesetz (bzw. gleichwertiger Förderung) und hat einen Offshore-Einsatz von Windkraftanlagen ausgeschlossen. Auch andere aktuelle Maßnahmen sind in diesen Szenarien nicht berücksichtigt oder in der Wirkung unterschätzt worden. So beschränkt sich die Photovoltaikleistung in der Prognose trotz Berücksichtigung des 100 0000-Dächer-Programms auf 200 MW im Jahr 2010 und die erhöhte Vergütung im EEG sowie die von 350 auf 1000 MW erhöhte Begrenzung konnten damals noch nicht eingerechnet werden.

Aus diesen Gründen und aufgrund aktuellerer Einschätzungen wird das Referenzszenario modifiziert im Sinne eines aktualisierten Mit-Maßnahmen-Szenarios. Dabei werden allerdings anders als z.B. in BMU (2001) keine Zielwerte vorgegeben.

Die regenerative Stromerzeugung aus Wasserkraft lag witterungsbereinigt im Jahr 2000 (wie ähnlich auch in den Jahren zuvor) bei 20 TWh. Die künftige Zunahme der Leistung wird als gering eingeschätzt, zumal das Potenzial in Deutschland bereits zu einem großem Teil ausgeschöpft ist. So wird im Erfahrungsbericht zum EEG (Bundesregierung 2002a) für die kommenden 10 bis 15 Jahre ein jährlicher Leistungszuwachs von lediglich 20 bis 25 MW erwartet. Dementsprechend wird die Stromerzeugung aus Wasserkraft im Jahr 2010 - wie im Referenzszenario - auf 21,6 TWh geschätzt. Dies ist deutlich weniger als im Zielszenario des BMU (2001), das 25 TWh Wasserkraftstrom enthält.

Eine aktuelle Prognose der Entwicklung der Windenergie ist angesichts der gegenwärtigen Dynamik besonders schwierig. In den vergangenen Jahren mussten die Erwartungen immer wieder (nach oben) revidiert werden. Schon der potenzielle Ertrag der Ende 2003 installierten Anlagen wird vom BWE für ein Normaljahr auf 28 TWh geschätzt; dies wäre deutlich mehr als im Referenzszenario der Enquetekommission für das Jahr 2010 (20,7 TWh) erwartet wird.

Tabelle 3.9-19 Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bis 2010 (ohne Abfall), Modifiziertes Referenzszenarios und Vergleich mit anderen Szenarien

	Ist BMU (2003)			Referenz modifiz.	Referenz Enquetek.	Prognos, EWI	Ziel BMU
	1998	2000	2002	2010			
Erzeugung in TWh							
Wasserkraft	19,2	25,1	23,8	21,6	21,6	21,6	25,0
Windkraft	4,5	9,5	15,9	38,0	20,7	17,0	31,0
Biomasse	1,1	1,6	4,5	6,0	3,7	3,4	8,0
Photovoltaik	0,0	0,1	0,2	0,9	0,2	0,2	1,0
Geothermie	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	2,0
Summe	24,8	36,3	44,4	67,0	46,1	42,2	67,0
Anteil am BSV in %	4,5	6,3	7,6	11,5	7,9	7,3	11,5

Wasserkraft ohne Strom aus Pumpspeicher.
Biomasse ohne Abfall, bis 2000 nur Einspeisung.
BSV = Bruttostromverbrauch (2002: 581,2 TWh).
Quellen: BMU (2003), Enquetekommission (2002), IER, Wi, Prognos (2002)
Prognos, EWI (1999), BMU (2001), Berechnungen des DIW.

Auch die wesentlich höhere Erzeugung von 31 TWh im Zielszenario des BMU (2001), das bei der Windenergienutzung auf DEWI (2001) beruht, dürfte überschritten werden. So wurde in der DEWI-Studie für 2005 eine Onshore-Leistung von 11,6 GW erwartet; Ende 2003 betrug die Leistung tatsächlich aber bereits 14,6 GW (Ender 2002).

Selbst im Fall einer stark nachlassenden Wachstumsdynamik würde der Beitrag der Windenergie im Jahr 2010 wahrscheinlich höher sein als im BMU-Szenario. Selbst wenn der Ausbau der Leistung sich auf knapp 1 GW vermindern würde, wären Anfang 2010 rund 19 GW installiert. Hiervon könnten etwa 2 GW auf See installiert werden.[104] Dabei wird unterstellt, dass die Vergütung für Strom aus Windenergie in den kommenden Jahren nicht wesentlich vermindert wird und die Sonderregelung im EEG wie angekündigt verlängert wird. In der

[104] In einer aktualisierten Prognose des DEWI (2002) werden für das Jahr 2010 rund 20 GW an Land und 2,4 GW auf See geschätzt.

Summe würde diese Leistung dann ein Erzeugungspotenzial von mindestens 38 TWh im Jahr 2010 haben.

Die Verstromung von Bioenergie im Referenzszenario lässt sich nicht eindeutig aus Enquete-Kommission (2002) und IER, WI, Prognos (2002) entnehmen, da dort andere Brennstoffe bzw. Abfall eingerechnet sind. In IER, WI, Prognos (2002, S. 30) werden unter Biomasse/gas im Referenzszenario 2010 7,8 TWh genannt. Nach der Auswertungstabelle von IER sind es 2 TWh aus Biomasse und 1,7 TWh aus Biogas. Dies ist etwas höher als in Prognos, EWI (1999). Im Szenario des BMU wird dagegen mehr als doppelt soviel Strom aus Bioenergie erzeugt. Angesichts der gegenwärtigen Unsicherheiten beim künftigen Einsatz von Biomasse wird im Mit-Maßnahmen-Szenario für das Jahr 2010 hierfür eine Stromerzeugung von 6 TWh geschätzt.

Die Entwicklung der Photovoltaik wird in Deutschland sehr stark durch die Förderpolitik bestimmt. Maßgeblich ist gegenwärtig das EEG, mit dem zunächst 350 MW und mittlerweile insgesamt rund 1 000 MW gefördert werden können. Als Ersatz für das ausgelaufene 100 000-Dächer-Programm ist mit dem Vorschaltgesetz Ende 2003 die Mindestvergütung erhöht worden. Bei einem Ausbau in Höhe von 1 000 MW könnte der jährliche Beitrag der Photovoltaik bis 2010 auf knapp 1 TWh steigen.

Geothermische Stromerzeugung wird im Referenzszenario der Enquete-Kommission im Jahr 2010 aufgrund hoher Kosten noch nicht genutzt. In Prognos, EWI (1999) wurde sie auch für 2020 nicht betrachtet. Seitdem im EEG eine Förderung vorgesehen ist und parallel Vorhaben gefördert werden, haben sich die Chancen für Geothermiestrom in Deutschland allerdings erhöht (vgl. BMU 2002e). Abweichend vom Referenzszenario wird hierfür im Jahr 2010 eine Erzeugung von 0,5 TWh berücksichtigt.

Stromerzeugung aus der Verwertung von Abfall zählt nur bedingt zur Nutzung erneuerbarer Energien. Prognos, EWI geben insgesamt rund 10 TWh an, wobei es sich allerdings überwiegend um gewerbliche Abfälle handelt. Aus Siedlungsabfällen werden nach der Prognose 2010 gut 4 TWh erzeugt. Im Referenzszenario sind nach den Auswertungstabellen von IER 5,4 TWh Strom aus dem Mülleinsatz in KWK-Anlagen enthalten. Als erneuerbare Energie werden neuerdings die biogenen Anteile des Abfalls angesehen. Hieraus werden gegenwärtig etwa 2 TWh Strom erzeugt.

Insgesamt werden im modifizierten Referenzszenario (Mit-Maßnahmen-Szenario) im Jahr 2010 rund 67 TWh Strom aus erneuerbaren Energien erzeugt, einschließlich biogenem Abfall sind es etwa 69 TWh. Bezogen auf den bisherigen Bruttostromverbrauch ergibt sich daraus ein Anteil erneuerbarer Energien von 11,5 bzw. 11,9 %. Dies ist insbesondere aufgrund der unterschiedlichen Einschätzung bei der Windenergie wesentlich mehr als im Referenzszenario der Enquetekommission.

Tabelle 3.9-20 Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Jahr 2010 mit und ohne Maßnahmen seit 1998

	Ist	Normaljahr	Mit Maßn.	Ohne Maßn.	Differenz
	1998		2010		
Erzeugung in TWh					
Wasserkraft	19,2	20,0	21,6	20,0	1,6
Windkraft	4,5	4,2	38,0	9,8	28,2
Biomasse	1,1	1,1	6,0	2,3	3,7
Photovoltaik	0,0	0,0	0,9	0,1	0,8
Geothermie	0,0	0,0	0,5	0,0	0,5
Summe	24,8	25,3	67,0	32,2	34,8
Anteil am BSV in %	4,5	4,5	11,5	5,5	6,0
Vermiedene CO2-Emission in Mt	19,8	20,2	53,6	25,7	27,9

Quellen: Schätzungen des DIW.

Ausgehend vom Mit-Maßnahmen-Szenario wird in Tabelle 3.9-20 unter Berücksichtigung der geschätzten Wirkungen der Maßnahmen ab 1998 das Ohne-Maßnahmen-Szenario für die regenerative Stromerzeugung abgeleitet:

Bei der Wasserkraft wird davon ausgegangen, dass das Regelarbeitsvermögen ohne die aktuelle Förderung auf dem Niveau des Ausgangsjahres bliebe. Die bis 2010 erwartete Erhöhung wird somit vollständig der Maßnahmenwirkung zugerechnet.

Die Entwicklung der Windenergie im Ohne-Maßnahmen-Szenario hängt stark davon ab, welche Alternativsituation im Vergleich zur EEG-Förderung betrachtet wird. Wenn das Stromeinspeisungsgesetz in der früheren Form fortgesetzt worden wäre, hätte sich die Windenergie weitaus weniger dynamisch entwickelt. Von Prognos, EWI (1999) waren trotz der Erwartung von gewissen Anpassungen des Stromeinspeisungsgesetzes (insbesondere wegen der doppelten Deckelung) für 2010 nur 17 TWh Windstrom erwartet worden. Ohne weitere Förderpolitik wäre ein noch geringerer Beitrag zu erwarten gewesen. Die 1998 installierte Kapazität von 2,9 GW ermöglicht im Normaljahr eine Erzeugung von 5,4 TWh. Unterstellt man im Ohne-

Maßnahmen-Szenario weiterhin ein von der Bundesförderung unabhängiges Wachstum von 0,2 GW/a bzw. 0,4 TWh/a, so wäre im Jahr 2010 eine Stromerzeugung aus Windenergie in Höhe von knapp 10 TWh möglich.

Bei der Verstromung von Biomasse könnte ohne die aktuelle Förderpolitik allenfalls von einem Wachstum um 0,1 TWh pro Jahr ausgegangen werden. Im Jahr 2010 wäre dann die Stromerzeugung aus Bioenergie nur wenig höher als die tatsächliche Erzeugung im Jahr 2001.

Die Nutzung der Photovoltaik bliebe ohne die hohe Einspeisevergütung und ohne das 100 000-Dächer-Programm weit hinter der gegenwärtigen Entwicklung zurück. Es wird geschätzt, dass unter solchen Bedingungen im Jahr 2010 eine Solarstromerzeugung von 0,07 TWh möglich wäre, die nur knapp ein Zehntel der Erzeugung im Mit-Maßnahmen-Szenario beträgt.

Eine geothermische Stromerzeugung wäre in einem Ohne-Maßnahmen-Szenario in Deutschland bis 2010 unwahrscheinlich.

Insgesamt ergäbe sich im Ohne-Maßnahmen-Szenario im Jahr 2010 eine Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien von 32,2 TWh (ohne Abfall) bzw. rund 34 TWh (mit biogenem Abfall). Im Vergleich zum Mit-Maßnahmen-Szenario wären dies rund 35 TWh weniger. Dementsprechend werden durch die hier betrachteten Maßnahmen die CO_2-Emissionen im Jahr 2010 zusätzlich um rund 28 Mio. t vermindert. Hinzu kommt im Jahr 2010 eine Einsparung von rund 26 Mio. t CO_2 (Ohne-Maßnahmen-Szenario), die zum Teil auf früheren Maßnahmen zur Förderung erneuerbarer Energien beruht. In der Summe resultiert im Mit-Maßnahmen-Szenario durch die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien (einschl. biogenem Abfall) im Jahr 2010 eine CO_2-Einsparung von rund 55 Mio. t.

3.9.6.4 Wärme- und Treibstoffbereitstellung aus erneuerbaren Energien mit und ohne Maßnahmen

Die Wärme- und Treibstoffbereitstellung aus erneuerbaren Energien wird im Referenzszenario der Enquetekommission zum Teil recht aggregiert dargestellt, was einen direkten Vergleich mit den Ausgangsdaten des BMU erschwert. Die Auswertungstabellen der IER erlauben zwar eine sektorale Aufteilung, allerdings sind dort die Energieträger unterschiedlich zusammengefasst worden. Dies gilt insbesondere für Biomasse und Abfall (im Umwandlungsbereich) und für Solarthermie, Umgebungswärme und Geothermie. Auch in Prognos, EWI

sind Umgebungswärme und Geothermie zusammengefasst. In anderen Studien werden dagegen sowohl die Nutzung von Abfall als auch die von Umgebungswärme (mit zumeist elektrischen Wärmepumpen) ausgeklammert. Ein Vergleich von unterschiedlichen Szenarien der Entwicklung erneuerbarer Energien wird auch dadurch erschwert, dass die Analysen zum Teil von deutlich unterschiedlichen Daten über die bisherige Nutzung bzw. von unterschiedlichen Basisjahren ausgehen.

Neben dem Referenzszenario und der Prognose aus dem Jahr 1999 sind in Tabelle 3.9-21 vier Szenarien aus drei Studien aus den Jahren 1999, 2001 und 2002 dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass die Szenarien Ausbau, Orientierung und Nachhaltigkeit keine Trend-, sondern Zielszenarien darstellen. Allerdings wird dieser Unterschied für den Zeitraum bis 2010 nach den Langfristszenarien von WI, DLR (2002) als gering angesehen.

Tabelle 3.9-21 Wärme- und Treibstoffbereitstellung aus erneuerbaren Energien bis 2010, Modifikation des Referenzszenarios und Vergleich mit anderen Szenarien

	Ist BMU (2003)			Referenz modifiz.	Referenz Enquetek.	Prognos, EWI	DLR '99 Trend	DLR '99 Ausbau	DLR '01 Orient.	WI, DLR Nachh.
	1998	2000	2002	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010
	PJ									
Biomasse, -gas	162,0	183,6	192,1	290,0	273,0	186,6	72,5	92,9	205,6	203,0
Biodiesel	3,7	12,7	20,5	56,0	8,0	8,0				
Solarthermie	3,1	4,6	7,0	25,0	33,0	9,4	8,8	23,9	23,8	23,0
Geothermie	3,0	3,5	3,8	4,5		11,6	1,4	4,8	4,7	4,5
Summe	171,8	204,4	223,4	375,5	314,0	215,6	82,6	121,6	234,0	230,5

Biomasse ohne Abfall
Solarthermie im Referenzszenario einschl. Umgebungswärme und Geothermie
Geothermie in der Prognose von Prognos, EWI Umgebungswärme einschl. Geothermie
Quellen: BMU (2003), IER, WI, Prognos (2002), Prognos, EWI (1999), DLR u.a. (1999), DLR, FZK (2001), WI, DLR (2002); Berechnungen des DIW.

Der Einsatz von fester und gasförmiger Biomasse zur Wärmeerzeugung wird im Referenzszenario optimistischer eingeschätzt als in früheren Studien, die allerdings auch von geringeren empirischen Werten ausgegangen sind. Zunehmende Bedeutung hat dabei vor allem der Biomasseeinsatz in der Industrie und im Umwandlungsbereich. Für das Mit-Maßnahmen-Szenario wird von einer noch etwas höheren Biomassenutzung (290 PJ im Jahr 2010) ausgegangen, weil die Verstromung in KWK-Anlagen unter den gegenwärtigen Förderbedingungen trotz der gegenwärtig verbleibenden Unsicherheiten höher eingeschätzt wird als im Referenzszenario (s.o.).

Die Entwicklung von Biodiesel wird in den vorliegenden Szenarien durchweg unterschätzt. Der Einsatz von biologischen Treibstoffen ist in den vergangenen Jahren stark gestiegen und wird angesichts der Steuerbefreiung und anderer Initiativen - in Europa insgesamt - weiter zunehmen. Der Absatz von Biodiesel hat sich in Deutschland bis 2003 auf 650 000 t erhöht. Bis 2010 könnte er weiter auf etwa 56 PJ steigen. Dies wäre immerhin siebenmal soviel wie im Referenzszenario.

Angesichts des Markteinbruchs bei Solarkollektoren im Jahr 2002 (+0,55 Mio. m²) und einer Erholung im Jahr 2003 (+0,84 Mio. m²) wird eine Einschätzung der künftigen Entwicklung erschwert. Dabei sollte die Entwicklung des Kollektormarktes nicht allein in Abhängigkeit von Förderbedingungen gesehen werden, sondern auch unter Berücksichtigung anderer Rahmenbedingungen wie insbesondere gesamtwirtschaftlichen Entwicklung. Bei einer weiteren Markterholung könnte 2006 das (im Koalitionsvertrag genannte) Ziel der Bundesregierung erreicht werden, die Kollektorfläche innerhalb von vier Jahren zu verdoppeln. Geht man für die zweite Dekadenhälfte von einem weiter beschleunigtem Wachstum von durchschnittlich 2 Mio. m² pro Jahr aus, dann würde in 2010 eine Wärmebereitstellung aus Solarkollektoren von rund 25 PJ möglich. Diese Entwicklung liegt zwischen den Szenarien „Stagnation“ und „Trend“ des DFS (2002) und damit deutlich unter dem dort dargestellten Szenario „Forciert“, in dem allein im Jahr 2010 10 Mio. m² installiert würden. Im Vergleich zu den anderen Szenarien wird der Beitrag von Solarkollektoren 2010 höher eingeschätzt als in früheren Trendszenarien und sogar noch etwas höher als im Nachhaltigkeitsszenario. Die Angabe für das Referenzszenario der Enquetekommission (33 PJ) ist hiermit nicht direkt vergleichbar, da sie anders als hier Umgebungswärme und Geothermie einbezieht.

Der Beitrag der Geothermie ist auf Basis der Ausgangsdaten des BMU geschätzt. Im Jahr 2010 liegt er mit 4,5 PJ ungefähr so hoch wie im Nachhaltigkeitsszenario. Die Bedeutung der geothermischen Wärmeerzeugung bliebe danach auf einem relativ geringen Niveau.

Insgesamt ergibt sich im Mit-Maßnahmen-Szenario ein Beitrag erneuerbarer Energien zur Wärme- und Treibstoffbereitstellung von rund 375 PJ. Das wären über 200 PJ mehr als 1998, wobei der Zuwachs überwiegend in der erhöhten Nutzung von Biomasse besteht.

Tabelle 3.9-22 Wärme- und Treibstoffbereitstellung aus erneuerbaren Energien 2005 und 2010, mit und ohne Maßnahmen seit 1998

	Ist	Mit Maßn.	Ohne Maßn.	Differenz
	1998	2010		
Energie in PJ				
Biomasse, -gas	162,0	290,0	200,0	90,0
Biodiesel	3,7	56,0	15,0	41,0
Solarthermie	3,1	25,0	10,0	15,0
Geothermie	3,0	4,5	4,0	0,5
Summe	171,8	375,5	229,0	146,5
CO_2-Emission in Mt	11,3	24,7	15,0	9,7

Ohne Abfall.
Quellen: Schätzungen des DIW.

In Tabelle 3.9-22 ist die Wärme- und Treibstoffbereitstellung aus erneuerbaren Energien mit und ohne Maßnahmen dargestellt.

Im Ohne-Maßnahmen-Szenario bliebe die Biomassenutzung in etwa auf einem Niveau, das gegenwärtig erreicht ist und das auch in Prognos, EWI (1999) für 2010 geschätzt worden war. Gegenüber 1998 bedeutet dies eine Zunahme um ein Viertel.

Der Einsatz von Biodiesel könnte in diesem Szenario dem Trend in den 90er-Jahre (bis 1998) folgend im Jahr 2010 rund 400 000 t erreichen. Das wären dann etwa 15 PJ.

Die Entwicklung des Marktes für Solarkollektoren wird stark von der Förderpolitik des Bundes beeinflusst. Ohne diese Förderung wäre das Wachstum im hier betrachteten Zeitraum wesentlich geringer. Allerdings dürfte sich auch in diesem Szenario das Wachstum – wenn auch mit geringerer Geschwindigkeit – fortsetzen, so dass 2010 ein Beitrag der Solarthermie von rund 10 PJ erreicht würde. Dabei wird eine jahresdurchschnittliche Installation von 0,4 Mio. m² Kollektorfläche unterstellt.

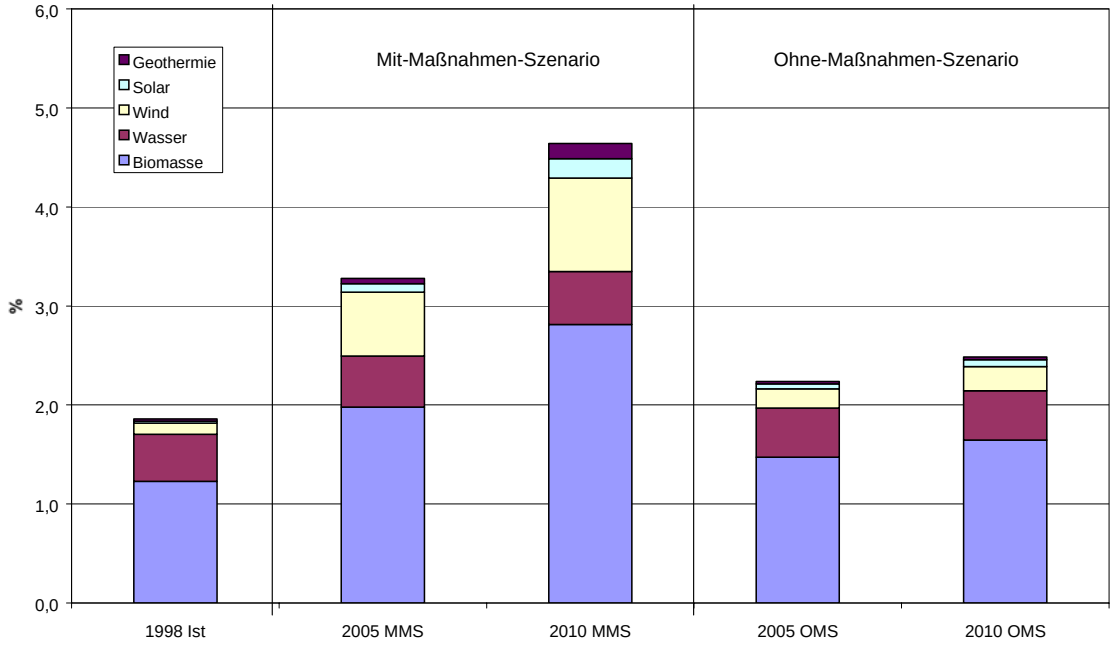
Für die geothermische Wärmeerzeugung wird in diesem Szenario ein Wachstum von 1 PJ im Jahr 2010 gegenüber 1998 angenommen.

Zusammen würden die hier betrachteten Systeme im Jahr 2010 rund 230 PJ Wärme bzw. Treibstoff erbringen. Das wären 147 PJ weniger als im Mit-Maßnahmen-Szenario. Die entsprechende CO_2-Einsparung wäre mit rund 15 Mio. t um 10 Mio. t niedriger als im Mit-Maßnahmenszenario (25 Mio. t CO_2).

3.9.6.5 Primärenergieverbrauch und CO_2-Emissionsminderung durch erneuerbare Energien mit und ohne Maßnahmen

Der künftige Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch unterscheidet sich in den betrachteten Szenarien erheblich (Abbildung 3.9-4).

Abbildung 3.9-4 Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch in Deutschland bis 2010 (ohne Abfall und Umgebungswärme)



Quellen: Istdaten nach BMU (2002), Schätzungen des DIW.

Im Mit-Maßnahmen-Szenario nehmen vor allem Biomasse und Windenergie kräftig zu, während sich der Beitrag der Wasserkraft wenig erhöht. Sonnenenergie und Geothermie erreichen dagegen bis 2010 nur geringe Anteile.[105] In diesem Szenario erreichen erneuerbare Energien im Jahr 2010 am Primärenergieverbrauch einen Anteil von 4,6 % (ohne Abfall und Umgebungswärme).

Im Ohne-Maßnahmen-Szenario erreicht dieser Anteil 2010 hingegen nur 2,5 %. Die Differenz zwischen Mit- und Ohne-Maßnahmen-Szenario wird zu fast 90 % durch die unterschiedliche Entwicklung von Biomasse und Windkraft hervorgerufen.

[105] Dabei ist zu beachten, dass Geothermiestrom nach dem Wirkungsgradansatz primärenergetisch höher bewertet wird als Photovoltaikstrom.

Tabelle 3.9-23 CO_2-Einsparung durch erneuerbare Energien im Mit- und Ohne-Maßnahmen-Szenario

	Ist	Mit Maßn.	Ohne Maßn.	Differenz
	1998	2010	2010	2010
	Mio. t CO2			
Strom	19,8	53,6	25,7	27,9
Wärme	11,0	20,9	14,0	6,9
Kraftstoff	0,3	3,8	1,0	2,8
Summe	31,1	78,3	40,8	37,5

Ohne Abfall.
Quelle: Schätzungen des DIW.

Ähnliche Relationen zeigen sich auch bei der Verminderung von CO_2-Emissionen. Im Mit-Maßnahmen-Szenario werden im Jahr 2010 insgesamt 78 Mio. t CO_2 durch erneuerbare Energien vermieden (Tabelle 3.9-23). Dies sind 38 Mio. t CO_2 mehr als im (fiktiven) Ohne-Maßnahmen-Szenario oder 47 Mio. t mehr als 1998.

In der folgenden Übersicht sind die Wirkungen der bisherigen Fördermaßnahmen im Bereich erneuerbarer Energien zusammenfassend dargestellt. Dabei wird auf eine Unterteilung nach den vielfältigen Einzelmaßnahmen und eine entsprechende Wirkungszurechnung verzichtet, weil die Gesamtwirkung häufig durch die Kombination von Maßnahmen erreicht wird. Hervorzuheben ist jedoch die Bedeutung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes für den Bereich der Stromerzeugung und des Marktanreizprogramms für den Bereich der Wärmebereitstellung, während die Nutzung von Kraftstoffen aus erneuerbaren Energien vor allem von der Steuerbefreiung profitieren.

3.9.6.6 Ausblick auf das Jahr 2020

Die weitere Entwicklung erneuerbarer Energien in der Dekade nach 2010 wird im Referenzszenario der Enquetekommission (siehe Tabelle 3.9-18 in Abschnitt 3.9.6.2) durch die Vorgaben geprägt, dass bis 2020 ein Anteil am Primärenergieverbrauch von 4,4 % und ein Anteil von 10 % am Stromverbrauch erreicht werden sollen. Im Ergebnis erhöhen sich in dieser Dekade die Beiträge von Wasserkraft um 4 %, Windenergie um 30 %, Biomasse und Müll um 9 % sowie von Solarenergie und Umgebungswärme (einschl. Geothermie) um 73 %.[106] Zusätzlich kommt es dort im Jahr 2020 zu einem Nettoimport von regenerativ erzeugtem Strom

(in Höhe von 2,3 TWh). Insgesamt nimmt der Primärenergieverbrauch erneuerbarer Energien im Referenzszenario von 2010 bis 2020 um 16 % zu.

Übersicht 3.9-1 Klimaschutzpolitische Maßnahmen im „Mit-Maßnahmen-Szenario“ im Bereich der erneuerbaren Energien

Maßnahme/ Umsetzung/ Institution	Typ	Beschreibung/Ziele (Wirkungsbereich)	Umsetzungs-stand (Wirkungs-beginn)	Erwarteter Effekt 2008/2012 in Mio. t CO_2	Ausblick 2020 (qualitativ)
Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), Biomasse-Verordnung, Marktanreizprogramme zugunsten erneuerbarer Energien, FuE, Demonstration Bundesregierung	E, F, R, D	Förderung des Einsatzes erneuerbarer Energien bei der Strom- und Wärme-erzeugung sowie zur Bereitstellung von Kraftstoffen. Ziel: Substitution fossiler Energieträger Wirkungsbereiche: - Stromerzeugung - Wärmeerzeugung - Kraftstoffbereitstellung	In Kraft (EEG 2000, BioMVO 2001, MAP 1999, FEuD laufend)	 -28,0 -7,0 -3,0	langfristig abklingende Wirkung aktueller Maß-nahmen
1) Gewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen auf die direkten CO_2-Emissionen				**-38,0**	
2) Direkte CO_2-Emissionen des Sektors im "Mit-Maßnahmen-Szenario" (entspricht dem ggf. zu modifizierenden Referenz-Szenario der Enquete-Kommission)				**-79,0**	
3) Direkte CO_2-Emissionen des Sektors im Ohne-Maßnahmen-Szenario (1+2)				**-41,0**	
Vermiedene CO_2-Emissionen im Jahre 1998				**-31,3**	

Die dem Referenzszenario für 2020 vorgegebenen Mindestanteile erneuerbarer Energien werden im Mit-Maßnahmen-Szenario allerdings schon 2010 erreicht bzw. überschritten. Wenn der Beitrag erneuerbarer Energien nach 2010 insgesamt nicht sinkt, wird ihr Anteil im Jahr 2020 schon deshalb höher sein als im Referenzszenario der Enquetekommission.

Die längerfristigen Effekte der aktuellen Förderpolitik sind naturgemäß schwieriger zu bewerten als die Wirkungen in den nächsten Jahren. Dabei ist Folgendes zu berücksichtigen:

[106] Im Referenzszenario der Enquetekommission erhöht sich von 2010 bis 2020 der Einsatz erneuerbarer Ener-

- Die gegenwärtig installierten Anlagen haben eine Lebensdauer, die zum Teil 20 Jahre und mehr beträgt. Heutige Anlagen werden deshalb zum Teil auch 2020 noch in Betrieb sein.
- Auch Fördermaßnahmen wie die Regelungen nach dem EEG und Kredite gehen zumindest in Bezug auf die gegenwärtig betroffenen Anlagen zum Teil über das Jahr 2010 hinaus und sichern damit deren weiteren Betrieb.
- Die aktuell beschlossenen Maßnahmen beziehen sich zum Teil auf Anlagen, die erst 2010 installiert und danach mindestens zwei Jahrzehnte betrieben werden sollen (Offshore-Windkraftanlagen).
- Die gegenwärtige Förderung beschleunigt die Marktentwicklung und trägt damit dazu bei, dass die Systemkosten u.a. aufgrund von Größenvorteilen weiter reduziert werden können (insbesondere in der Solartechnik).
- Gerade bei Maßnahmen zur Forschung und Entwicklung dürften generell die längerfristigen Wirkungen größer sein als direkte Kurzfristeffekte. Dies gilt ähnlich auch für Maßnahmen zum Abbau von institutionellen Hemmnissen und zur Verbesserung der Information.

Diese Aspekte verdeutlichen, dass die Fördermaßnahmen auf unterschiedliche Weise auf die langfristige Nutzung erneuerbarer Energien ausgerichtet sind, wenn sich auch das Ausmaß der Langfristeffekte kaum mit Sicherheit prognostizieren lässt.

Dennoch ist auch zu beachten, dass die Wirkungen von Förderprogrammen, die sich auf die Nutzung erneuerbarer Energien beziehen, mit der Zeit abklingen können. Es ist nicht davon auszugehen, dass die Techniken bis zum Jahr 2010 überwiegend die Wirtschaftlichkeitsschwelle überschritten haben werden. Deshalb sind auch danach politische Maßnahmen erforderlich, um insbesondere finanzielle Anreize zum weiteren Ausbau erneuerbarer Energien zugeben.

Trotz des Weiterwirkens von bisherigen Maßnahmen ist deshalb längerfristig eine Fortsetzung der Förderpolitik über 2010 hinaus nötig, vor allem dann, wenn für die Nutzung erneuerbarer Energiequellen ambitionierte Langfristziele gesetzt werden.

---

gien in fast allen Bereichen. Leicht rückläufig ist dort allerdings der Biomasseeinsatz zur Wärmeerzeugung in den Sektoren Industrie und GHD; nach 2020 gewinnt Biomasse in der Industrie aber wieder an Bedeutung.

Literatur zu Kapitel 3.9

AGEE-Stat (2004): Entwicklung der Erneuerbaren Energien im Jahr 2003 in Deutschland. Erste vorläufige Abschätzung (Stand Februar 2004). www.erneuerbare-energien.de

Bayer, W. (2000): Regenerative Energieträger 1991 bis 1998. In: Wirtschaft und Statistik 5/2000. S. 377-379.

Bayer, W. (2000a): Erneuerbare Energien 1998 für die Bundesrepublik Deutschland. Statistisches Bundesamt Referat IV C 6. Wiesbaden, Januar 2000.

Bayer, W. (2002): Erneuerbare Energien 2000 für die Bundesrepublik Deutschland. Ergebnisse nach Energieträgern. Statistisches Bundesamt Referat IV C 6. Wiesbaden, März 2002.

BBE (2002): Bundesverband Bioenergie. Pressemitteilungen. www.bioenergie.de.

BET (2002): Untersuchung von Einflussgrößen auf die Höhe der Belastungen der Endkunden aus dem Erneuerbare-Energien-Gestz (EEG). Kurzgutachten im Auftrag des VDMA. Büro für Energiewirtschaft und technische Planung. Aachen, August 2002.

BMBF (2002): Faktenbericht Forschung. Berlin, Januar 2002.

BMF (2001): Achtzehnter Subventionsbericht. Bericht der Bundesregierung über die Entwicklung der Finanzhilfen des Bundes und der Steuervergünstigungen für die Jahre 1999 – 2002. Berlin, August 2001.

BMU (1999): Erneuerbare Energien und Nachhaltige Entwicklung. Bearb. von O. Langniß u.a., DLR.

BMU (2001a): Förderung erneuerbarer Energien. Förderprogramme zur stärkeren Nutzung erneuerbarer Energien im Überblick. Stand: März 2001. (www.bmu.de)

BMU (Hrsg. 1994): Klimaschutz in Deutschland. Erster Nationalbericht der Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland nach dem Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen. Bonn, September 1994.

BMU (Hrsg. 1997): Klimaschutz in Deutschland. Zweiter Nationalbericht der Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland nach dem Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen. Bonn, April 1997.

BMU (Hrsg. 2000): Nationales Klimaschutzprogramm. Beschluss der Bundesregierung vom 18. Oktober 2000. (Fünfter Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe „CO2-Reduktion“). Berlin, Oktober 2000.

BMU (Hrsg. 2001): Windenergienutzung auf See. Positionspapier des BMU zur Windenergienutzung im Offshore-Bereich. Berlin, Mai 2001.

BMU (Hrsg. 2002a): Entwicklung der Erneuerbaren Energien. Aktueller Sachstand. Berlin, Januar 2002.

BMU (Hrsg. 2002b): Erneuerbare Energien und Umwelt in Zahlen – Stand März 2002.

BMU (Hrsg. 2002c): Klimaschutz in Deutschland. Dritter Nationalbericht der Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland nach dem Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen. Berlin, 2002.

BMU (Hrsg. 2002d): Aktuelle Daten zur Nutzung erneuerbarer Energien. Pressemitteilung und Artikel in: Umwelt 10/2002.

BMU (Hrsg. 2002e): Fachtagung „Geothermische Stromerzeugung – eine Investition in die Zukunft. 20.21.6.2002 Landau/Pfalz. Tagungsband. Berlin, Juni 2002.

BMU (2003): Erneuerbare Energien in Zahlen - nationale und internationale Entwicklung. Stand: November 2003.

BMWi (2002): Einzelplan 09. Haushalt 2003 und Finanzplan 2004 bis 2006. Regierungsentwurf vom 19.6.2002.

Böhmer, T. (2002): Nutzung erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung im Jahr 2000. Erneut hohe Wachstumsraten. In: ew 7/2002. S. 22-32.

Böhmer, T. (2002a): Das Erneuerbare-Energien-Gesetz. Erfahrungen, Auswirkungen und Perspektiven. In: ew 10/2002. S. 28-34.

Bundesregierung (2002): Perspektiven für Deutschland. Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. Entwurf der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie. Januar 2002.

Bundesregierung (2002a): Bericht über den Stand der Markteinführung und der Kostenentwicklung von Anlagen zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien (Erfahrungsbericht zum EEG), Berlin 28. Juni 2002.

Bundesregierung (2003): Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage „Klarheit über die Kosten der Förderung Erneuerbarer Energien. Bundestagsdrucksache 15/860 vom 14.4.2003.

Deutscher Bundestag (2000): Protokoll der 91. Sitzung des 14. Deutschen Bundestages. Zweite und dritte Beratung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes.

DEWI (2001): Weiterer Ausbau der Windenergienutzung im Hinblick auf den Klimaschutz – Teil 1. Studie im Auftrag des BMU bearbeitet von K. Rehfeldt u.a.. Wilhelmshaven, April 2001.

DEWI (2002): Wind Energy Study 2002. Assessment of the Wind Energy Market until 2010. On behalf of Hamburg Messe und Congress GmbH. April 2002.

DEWI (2004): Aufstellungszahlen der Windenergienutzung in Deutschland, Stand 31.12.2003. Pressemitteilung DEWI/VDMA/BWE vom 27.01.2004. www.dewi.de

DFS (2002): Marktentwicklung. Photovoltaik – Strom von der Sonne. Solarthermie – Wärme von der Sonne. August 2002. www.dfs.solarfirmen.de

Diekmann, J. (2002): Förderung der Windenergie erfolgreich. DIW-Wochenbericht 9/2002.

Diekmann, J., Eichelbrönner, M., Langniß, O. (1997): Aktionsprogramm Abbau von Hemmnissen bei der Realisierung von Anlagen erneuerbarer Energien. Herausgegeben vom Forum für Zukunftsenergien. Bonn 1997.

Diekmann, J., Goy, G.C., Wittke, F. (1999): Die Rolle von erneuerbaren Energien in der Energieversorgung. In: Das IKARUS-Projekt: Klimaschutz in Deutschland - Strategien für 2000-2020. Herausgegeben von H.-F. Wagner und G. Stein. Springer-Verlag Berlin u.a. 1999.

Diekmann, J., Horn, M., Hrubesch, P., Praetorius, B., Wittke, F., Ziesing, H.-J.(1995): Fossile Energieträger und erneuerbare Energiequellen. Monographien des Forschungszentrums Jülich. Band 15. Jülich 1995.

DLR, FZK (2001): Schlüsseltechnologie Regenerative Energien. Teilbericht im Rahmen des HGF-Projektes „Global zukunftsfähige Entwicklung – Perspektiven für Deutschland“. Bearbeitet von J. Nitsch, Chr. Rösch u.a. Stuttgart, Karlsruhe, November 2001.

DLR, WI, ZSW, IWR, Forum (1999): Klimaschutz durch Nutzung erneuerbarer Energien. Studie im Auftrag des BMU und des /UBA. Bonn, Münster, Stuttgart, Wuppertal, Oktober 1999.

Drillisch, J. (1999): Quotenregelung für regenerative Stromerzeugung. In: ZfE 4/99, S. 251-274.

Drillisch, J., Schulz, W., Starrmann, F. (2000): Charakterisierung und Bewertung verschiedener Instrumente zur Förderung erneuerbarer Energien und der Kraft-Wärme Kopplung. Kurzexpertise im Auftrag des BMWi. Köln, 8. Februar 2000.

DtA (2002): Deutsche Ausgleichsbank. Jahresbericht 2001 und aktuelle Förderbedingungen. (www.dta.de)

EEG (2000): Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz –EEG) vom 29. März 2000.

EU (1997): Kommission der Europäischen Gemeinschaften: Energie für die Zukunft.: Erneuerbare Energieträger. Weißbuch für eine Gemeinschaftsstrategie und Aktions-plan. KOM (97) 599 end.

EU (2000): Kommission der Europäischen Gemeinschaften: Geänderter Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt. KOM(2000) 884 endg. Brüssel, 28.12.2000.

EU (2001): Richtlinie 2001/77/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. September 2001 zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 283/33 vom 27.10.2001.

Ender, C. (2002): Windenergienutzung in der Bundesrepublik Deutschland – Stand 30.6.2002. In: DEWI Magazin nr. 21, August 2002.

Enquete-Kommission (2002): Bericht der Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“ des 14. Deutschen Bundestages. Bundestagsdrucksache 14/9400 vom 7.7.2002.

Ewringmann, D., Linscheidt, B. (1999): Vorbereitung weiterer Phasen der ökologischen Steuerreform: Die Fortentwicklung der Stromsteuer. Studie im Auftrag des BMU. Finanzwissenschaftliches Forschungsinstitut an der Universität zu Köln, November 1999.

FhG-ISI (1999): Evaluierung der Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien durch das Bundesministerium für Wirtschaft (1994-1998). Karlsruhe 1999.

Fischedick, M. (1999): Kurzexpertise zur Wirksamkeit verschiedener Instrumente zur Förderung erneuerbarer Energien. Wuppertal, Dezember 1999.

Horn, M. (1994): Kleine Wasserkraftanlagen in Deutschland: Kosten, gegenwärtige Nutzung und Potentiale. IKARUS-Studie 3-06. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Berlin, Oktober 1994.

IE (2002): Monitoring zur Biomasseverordnung auf Basis des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) aus Umweltsicht. Untersuchung des Instituts für Energetik und Umwelt. Leipzig, April 2002.

IER, WI, Prognos (2002): Szenarienerstellung. Bericht für die Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“ des 14. Deutschen Bundestages. Berlin, Juni 2002.

Kaltschmitt, M., Wiese, A. (Hrsg.) (1997): Erneuerbare Energien. Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. 2. Auflage. Berlin u.a. 1997.

KfW (2002): Kreditanstalt für Wiederaufbau. Förderprogramme der KfW. (www.kfw.de)

Langniß, O. (1999): Grüner Strom und staatliche Förderung: Eine Analyse der Wechselwirkungen. In: ZfE 4/99, S. 275-284.

Langniß, O. u.a. (1998): Strategien für eine nachhaltige Energieversorgung – Ein solares Langfristszenario für Deutschland. In: Strategien für eine nachhaltige Energieversorgung. Forschungsverbund Sonnenenergie. Köln, April 1998. S. 7-64.

Linscheidt, B., Truger, A. (2000): Ökologische Steuerreform: Ein Plädoyer für die Stärkung der Lenkungsanreize. In: Wirtschaftsdienst 2000/II, S. 98-106.

Meyer, B. (2000): Befreiung der erneuerbaren Energieträger von der Stromsteuer – Gründe, Chancen, Fragen, Probleme. Kiel, 13.2.2000.

Neu, A. (2000): Eine Zwischenbilanz zum Einsatz und zur Förderung erneuerbarer Energie in Deutschland. Kieler Diskussionsbeiträge 363. Kiel, Juli 2000.

Oppermann, K. (2002): Förderergebnisse des 100 000-Dächer-Solarstrom-Programms – eine Zwischenbilanz. In: KfW-Beiträge „Mittelstand- und Strukturpolitik“ Nr. 28. August 2002. S. 5-21.

Prognos (1998/99): Möglichkeiten der Marktanreizförderung für erneuerbare Energien auf Bundesebene unter Berücksichtigung veränderter wirtschaftlicher Rahmenbedingungen. Untersuchung im Auftrag des BMWi. Langfassung: Berlin. Dezember 1998. Kurzfassung: Berlin, März 1999.

Prognos, EWI (1999): Die längerfristige Entwicklung der Energiemärkte im Zeichen von Wettbewerb und Umwelt. Basel, Oktober 1999.

Prognos, IER (2001): Analyse der Wirksamkeit von CO_2-Minderungsmaßnahmen im Energiebereich und ihre Weiterentwicklung. Untersuchung im Auftrag des BMWi. Zwischenberichte I und II. November 2001.

SPD, Bündnis 90/Die Grünen (2002): Koalitionsvertrag 2002 – 2006: Erneuerung – Gerechtigkeit – Nachhaltigkeit. Für ein wirtschaftlich starkes, soziales und ökologisches Deutschland. Für eine lebendige Demokratie.

Staiß, F. (2001): Jahrbuch erneuerbare Energien. Radebeul 2001.

Stoltenberg, K. (1999): 100 000-Dächer-Solarstrom-Programm. In: Elektrizitätswirtschaft 24/1999, S. 52.

VDEW (2002): Erneuerbare Energien: Finanzierung aus Steuermitteln überfällig. In ew 17-18/2002.

VDN (2002): Jahresabrechnungen EEG sowie Aktuelle Daten zum EEG. (www.vdn-berlin.de)

VDN (2002a): EEG-Kriterienkatalog. Auslegung des EEG durch die Übertragungsnetzbetreiber. Stand 1.1.2002.

VDN (2003): Daten zum EEG. www.vdn-berlin.de.

Wagner, E. (1999): Nutzung erneuerbarer Energien durch die Elektrizitätswirtschaft, Stand 1998. In: Elektrizitätswirtschaft 24/1999. S. 12-22.

Wagner, E. (2000): Nutzung erneuerbarer Energien durch die Elektrizitätswirtschaft, Stand 1999. In: Elektrizitätswirtschaft 24/2000. S. 10-24.

WI, DLR (2002): Langfristszenarien für eine nachhaltige Energienutzung in Deutschland. Untersuchung im Auftrag des Umweltbundesamtes. Projektleitung: M. Fischedick, J. Nitsch. Climate Change. Berlin, Juni 2002.

Ziesing, H.-J. u.a. (1997): Szenarien und Maßnahmen zur Minderung von CO_2-Emissionen in Deutschland bis zum Jahr 2005. Politikszenarien für den Klimaschutz. Untersuchungen im Auftrag des Umweltbundesamtes herausgegeben von G. Stein und B. Strobel. Band 1. Studie von DIW, FhG-ISI, Forschungszentrum Jülich, Öko-Institut. Schriften des Forschungszentrums Jülich. Reihe Umwelt. Band 5. Jülich 1997.

Ziesing, H.-J. u.a. (1999): Szenarien und Maßnahmen zur Minderung von CO_2-Emissionen in Deutschland bis zum Jahr 2020. Politikszenarien für den Klimaschutz Band 5. Studie von DIW, FhG-ISI, Öko-Institut, Forschungszentrum Jülich im Auftrag des Umweltbundesamtes. Schriftenreihe des Forschungszentrums Jülich 1999.

3.10 Nicht-energiebedingte Treibhausgasemissionen

Die nicht-energiebedingten Treibhausgasemissionen betrugen im Jahr 2000 etwa 153,8 Mio. t CO_2–Äquivalente für Nicht-CO_2. Im Jahr 2002 sank dieser Wert auf 150,5 Mio. t CO_2–Äquivalente. Hinzu kamen 2002 nicht-energiebedingte CO_2-Emissionen in Höhe von 22,7 Mio. t aus Industrieprozessen (UBA 2004). Durch eine Reihe erfolgreicher Maßnahmen und produktionsbedingter Trends war es in den 1990er Jahren möglich, die Nicht-CO_2–Emissionen von über 200 Mio. t CO_2–Äquivalenten weitaus stärker zu reduzieren (1990 bis 2002: -36 %) als die CO_2–Emissionen (-15 %).

3.10.1 **Nicht-CO_2-Treibhausgasemissionen** (Fraunhofer-ISI)

Neben dem Treibhausgas CO_2 sind im Kontext der Klima-Rahmen-Konvention das Methan (CH_4), das Distickstoffoxid (N_2O, auch Lachgas genannt) und einige fluorhaltige gasförmige Verbindungen Gegenstand des Monitoring; diese werden im Folgenden behandelt.[96]

3.10.1.1 Überblick über die Maßnahmen

Die wichtigsten Emissionsquellen für Methan (CH_4) in Deutschland sind die Landwirtschaft (2002: 64,4 % der CH_4-Gesamtemission, berechnet als CO_2-Äqu.), die Gewinnung und Verteilung von Brennstoffen (vor allem der Kohlenbergbau und in geringerem Umfang die Erdgasverteilung) sowie die Abfallwirtschaft, insbesondere durch Methan-Emissionen aus Deponien. Gerade im letztgenannten Sektor wurden im vergangenen Jahrzehnt bereits erhebliche Emissionsminderungen erzielt, wobei durch die weitergehende Umsetzung der TA-Siedlungsabfall, z. B. durch die ergänzende Ablagerungsverordnung, bis zum Jahr 2010 weitere erhebliche Emissionsminderungen zu erwarten sind. Ferner sind wesentliche Emissionsminderungen bei Methan durch Maßnahmen im Landwirtschaftsbereich, die Nutzung von Biomasse, Deponie- und Klärgas sowie von Grubengas im Steinkohlebergbau zu erwarten.

Wesentliche Emissionsquellen für Distickstoffoxid (N_2O) sind Verbrennungsprozesse, industrielle Prozesse, insbesondere die Herstellung von Adipinsäure, sowie die Landwirtschaft (2002: 17,7 %, 12,7 % und 62,1 % der N_2O-Gesamtemission, berechnet als CO_2-Äqu.). Während die Emissionen im Industriesektor durch die von den deutschen Adipinsäureherstellern

[96] Darüber hinaus wirken troposphärisches Ozon, das bei bestimmten Luftverunreinigungen und bei Sonneneinstrahlung entsteht (sich aber nachts wieder abbaut) und stratosphärischer Wasserdampf durch hochfliegende Flugzeuge als Treibhausgase.

ergriffenen Emissionsminderungsmaßnahmen bereits heute sehr deutlich reduziert wurden, besteht im Bereich der Landwirtschaft weiterhin Handlungsbedarf bzw. ein Emissionsminderungspotenzial. Ganz generell sollten hier Maßnahmen zum Tragen kommen, welche die „Stickstoffeffizienz“ der Produktion erhöhen, sprich Überschüsse in der N-Bilanz vermeiden. Ziel ist es, eine Verbesserung der Aufnahme von Stickstoff aus den Mineral- und Wirtschaftsdüngern durch die Kulturpflanzen zu erreichen und damit die Stickstoffverluste zu senken. Als eine Möglichkeit zur Verbesserung der N-Effizienz gilt die Ausweitung des Ökologischen Landbaus. Dies ist auf seine besonders ressourcenschonende und umweltverträgliche Wirtschaftsweise die somit den Anforderungen an eine nachhaltige Landwirtschaft in hohem Maße Rechnung trägt, zurückzuführen. Der Ökologische Landbau ist gekennzeichnet durch vielseitige Fruchtfolgen, flächengebundene Tierhaltung mit geringen Besatzdichten und möglichst geschlossene Nährstoffkreisläufe durch betriebseigene organische Dünger und Futtermittel.

Im Vergleich zu 1990 haben die Treibhausgasemissionen in der Landwirtschaft um knapp 20 % abgenommen (2002). Dies ist u. a. auf geänderte Stallbauweisen, bessere Energieausnutzung und die Verwendung erneuerbarer Energien zurückzuführen.

Eine Reihe von Maßnahmen im Bereich der Klimatechnik und industrieller Prozesse erscheint schließlich geeignet, die Emissionen der so genannten „F-Gase“ (fluorhaltige Treibhausgase) deutlich zu reduzieren.

Die Übersicht 3.10-1 gibt einen Überblick über die quantitativ relevanten Maßnahmen, die im Bereich der nichtenergetisch bedingten Treibhausgasemissionen (ohne CO_2) in Betracht zu ziehen und in vielen Fällen erst seit 2000 oder später wirksam sind.

3.10.1.2 Zur Quantifizierung der Treibhausgasminderungspotenziale

3.10.1.2.1 Methan (CH_4)

Methan (CH_4) wird in Deutschland überwiegend bei nicht-energetischen Prozessen, aber auch bei der Gewinnung und Verteilung von Brennstoffen (Steinkohlenbergbau und Gasverteilungsnetze) emittiert. Im Bereich der Abfallwirtschaft war im vergangenen Jahrzehnt eine deutlich rückläufige Entwicklung der Emissionen zu beobachten. Die jährlichen CH_4-Emissionen aus der Landwirtschaft verringerten sich in den Jahren 1990 bis 2002 um rund

650 kt (im Wesentlichen durch den Rückgang der Rinderbestände in den NBL), auch die Emissionen der Kohleförderung gingen merklich zurück, wenn auch in weniger deutlichem Umfang.

Wichtige vor 1998 ergriffene Maßnahmen für die Verminderung von CH_4-Emissionen, die hier nicht explizit betrachtet und der Referenzentwicklung zugeordnet werden, sind:

- Verstärkte Nutzung von Grubengas auf Basis einer Zusage des deutschen Steinkohlebergbaus aus dem Jahr 1990,
- Technische Anleitung Siedlungsabfall (Abfallwirtschaft), in Kraft seit 1993 (CH_4),
- TA Abfall, Teil 1 (Abfallwirtschaft; besonders überwachungsbedürftige Abfälle), in Kraft seit 1991 (CH_4).

Zu betrachtende *Maßnahmen im Bereich von CH_4 seit 1998* (zu den für alle Nicht-CO_2-Treibhausgase berücksichtigten Maßnahmen vgl. Übersicht 3.10-1).

Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), Biomasse-Verordnung, Marktanreizprogramme für Erneuerbare Energien

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) dürfte in Verbindung mit der Biomasse-Verordnung bei der Biomassenutzung (Anlagen zur Verbrennung fester Biomasse, kleine Biogasanlagen) eine gewisse Dynamik auslösen, wenn auch vermutlich weniger stark ausgeprägt als bei der Windenergienutzung. Zwar wird das realisierbare Potenzial im 3. Nationalbericht recht optimistisch eingeschätzt, indes gilt es die sinnvolle Nutzung der anfallenden Wärme zu gewährleisten, z. B. im landwirtschaftlichen Betrieb oder im Nahbereich bzw. für den Fermenter. In landwirtschaftlichen Biogasanlagen ist von einem relativ geringen Wärmenachfragepotenzial von nur rund 20 % der Wärmeerzeugung eines Blockheizkraftwerkes auszugehen (Schneider / Kaltschmitt, 2002; siehe auch unten). Damit stellt sich also auch das Problem der Speicherung des Energieträgers Biogas; andernfalls kann bei Stromerzeugung die Inkaufnahme von nicht genutzten Abwärmemengen notwendig werden, was nach Einschätzung des Umweltbundesamtes derzeit nur bei wenigen Anlagen der Fall ist.

Übersicht 3.10-1 Maßnahmen zur Reduktion der Nicht-CO_2-Treibhausgasemissionen

Maßnahme/ Umsetzung/ Institution	Typ	Beschreibung/Ziele (Wirkungsbereich)	Umsetzungs-stand (Wirkungs-beginn)	Erwarteter Effekt 2008/2012 in Mio. t CO2-Äquiv.	Ausblick 2020 (qualitativ)
Erneuerbare Energien Gesetz (EEG), Biomasse-Verordnung, Marktanreizprogramme für Erneuerbare Energien	R	Förderung des Einsatzes von EE; Substitution von fossilen Energieträgern; hier Vermeidung der Emission von Methan, insbes. bei der Nutzung von Biomasse, Deponiegas, Klärgas und Grubengas gemäß EEG	lfd. seit 29.03.2000	-4	geringes weiteres Minderungspotenzial von CH_4-Emissionen vorhanden
Biomasseverordnung	R	Regelungen zur Art der Biomasse im Sinne des EEG, zu technischen Verfahren der Stromerzeugung aus Biomasse im Sinne des EEG und bzgl. Umweltanforderungen bei der Erzeugung von Strom aus Biomasse. Ziel: Substitution von fossilen Energieträgern	lfd. seit 2001	in Nr. 1 enthalten; nicht separat quantifizierbar	kaum weiteres Minderungspotenzial von CH_4-Emissionen vorhanden
Maßnahmenpaket im Bereich der Landwirtschaft	E	Insbesondere Ökologischer Landbau, Ausbau Biogasnutzung* und Maßnahmen im Bereich Tierhaltung	lfd.	-1,8	Weitere Reduktion möglich
Ablagerungsverordnung (AbfAblV, Ergänzung der TA Siedlungsabfall von 1993)	R	Verbot der Ablagerung unbehandelter Abfälle aus Haushalten und Gewerbe ab 1.6.2005. Klimarelevanter Effekt: Vermeidung der Entwicklung von Deponiegas bei neuen Anlagen, weitgehendes Auffangen von Deponiegas und energetische Nutzung bei Altanlagen der Abfalldeponierung. Damit Vermeidung von CH_4-Emissionen, Substitution von fossilen Energieträgern	lfd. seit 1.3.2001	-10	
Bioabfallverordnung	R	Regelung der Behandlung und Verwertung von Bioabfällen. Führt zur Vermeidung deponierter Abfallmengen	gültig seit 1998	nicht separat quantifiziert	
Altholzverordnung	R	Regelung der stofflichen und energetischen Verwertungs sowie der Beseitigung von Altholz	Inkrafttreten 1. 3. 2003	nicht separat quantifiziert	
Deponieverordnung (DepV), Ergänzung der TA Abfall, Teil 1 von 1991	R	Vermeidung des biologischen Abbaus der organischen Anteile im Sondermüll. Klimarelevanter Effekt: Vermeidung von CH_4-Emissionen	lfd. seit 1.8.2002	-0,15	kaum verbleibendes Restpotenzial
Verminderung der Methanverluste bei der Gewinnung und dem Transport von Erdgas	D	Optimierung der technischen Prozesse bei der Gewinnung und dem Transport von Erdgas. Senkung der Methanverluste durch bessere Dichtungen und schnellere Leckagenidentifizierung	lfd.	-0,2	langfristig nur noch geringes Minderungspotenzial von CH_4-Emissionen vorhanden
Erklärung der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge II	V	Fortschreibung der SV der dt. Wirtschaft von 1996 zur Emissionsreduktion (Minderung CO_2 bis 2005: 28 % (vorher 25 %; Minderung der sog. Kyoto-Gase bis 2012 um 35 %; vorher um 21 % bis 2008/2012) im Vergleich zu 1990; wichtig für N_2O und fluorhaltige Treibhausgase	lfd. seit 2000 (Vereinbarung zwischen Bundesregierung und deutscher Wirtschaft zur Klimavorsorge vom 9.11.2000)	-2	Weitere Reduktion möglich,in geringerem Ausmaß bei fluorhaltigen Gasen

noch
Übersicht 3.10-1 Maßnahmen zur Reduktion der Nicht-CO_2-Treibhausgasemissionen

Verstärkte Gruben-gasnutzung im Rahmen der Ver-pflichtung des deutschen Steinkoh-lenbergbaus	V	Energetische Nutzung abgesaugter Grubengasmengen, insbesondere in NRW. Maßgeblich beeinflusst durch Wirkung des EEG; hier nur nichtenergetische Emissionsminderung durch vermiedene Methanemission quantifiziert (zusätzlich zum Effekt früherer Zusagen von 1990) *	lfd	-1,9	Orientiert an Wirt-schaftlich-keit
Stationäre und Mobile Klimatechnik	R	a) Jährliche Wartungspflicht auf Kälte- und Klimaanlagen mit H-FKW als Kältemittel (Ausdehnung der anstehenden EG-Anordnung „über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen"); b) Ablösung von H-FKW-Klimaanlagen durch CO2-Anlagen in Fahrzeugen ab 2007 Ziel: Einsatz weniger klimawirksames Gas	in Diskussion	-4	Trend setzt sich fort; vor allem bei b)
XPS-Hartschäume und PU-Schäume	V	Substitution von H-FKW durch CO2 und Ethanol bei etwa der Hälfte der Produktion ab 2000 und Verzicht auf die Einführung/den Einsatz von H-FKW bei PU-Schaumprodukten/PU-Montageschäumen. Ziel: Einsatz weniger klimawirksames Gas beim Ersatz von ozonschädigenden Gasen	Rechtsverord-nung oder freiwillige Vereinbarung in der Dikussion	-4,6	weiteres Reduktions-potenzial durch weiterge-henden bzw. vollständi-gen Verzicht
Ersatz von H-FKW in medizinischen Anwendungen		Förderung des Marktanteils von Pulverinhalatoren z.B. bei der Asthma-Behandlung, mit dem Ziel der Reduzierung von Anwendungen mit HFKW als Treibgas.	Förderung von Alternativverfa hren geplant	-0,5	Einsparunge n im gleichen Umfang durch weitere Substitution möglich
Halbleiterherstellung	V	Modernisierungsmaßnahmen; Substitution der Ätzgase FKW durch NF3.	seit 1999	-1,3	kaum verbleiben-des Rest-potenzial; Industrie-zweig wächst stark
Aluminiumproduktion Modernisierung	V	Reduktion der FKW-Emissionen durch zusätzliche Modernisierungs- und Optimie-rungsprozesse in der Aluminiumindustrie	seit 2000 wirkend	-0,1	weitere Einsparung im gleichen Umfang durch vollständige Umstellung auf modernste Technik (Pointfeeder-Techn.)

noch
Übersicht 3.10-1 Maßnahmen zur Reduktion der Nicht-CO_2-Treibhausgasemissionen

Ersatz von SF6 als Schutzgas bei der Magnesiumher-stellung		Schrittweise Substitution von SF6 durch SO2 und andere Alternativgase als Schutzgas bei der Magnesiumverarbeitung.	laufend	-0,5	Orientiert an Wirt-schaftlich-keit
Schallschutzscheiben	R	Ersatz der SF6-Technologie durch veränderte Glasaufbauten.	wirkend ab 1.1.2004	-1	kleines Restpoten-zial
Verzicht auf SF6 zur Befüllung von Autoreifen	V+R	Vorgeschlagenes Verwendungsverbot zusätzlich zum bereits realisierten Verzicht der Reifenhersteller auf Verwendungs-empfehlung	wirkend ab 1.1.2004	-0,7	Potenzial bis 2010 bereits ausge-schöpft
1) Gewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen auf die direkten Emissionen von Nicht-CO2-Treibhausgasen in CO2-Äquivalenten				**-32,8**	**fallend**
2) Direkte Emissionen von Nicht-CO2-Treibhausgasen in CO2-Äquivalenten im "Mit-Maßnahmen-Szenario"				**140,8**	**fallend**
3) Direkte Emissionen von Nicht-CO2-Treibhausgasen in CO2-Äquivalenten im Ohne-Maßnahmen-Szenario (1+2)				**173,6**	**fallend**

* Um Doppelzählungen des Effektes der Nutzung erneuerbarer Energien (Maßnahme EEG) zu vermeiden, wurden die Beiträge der landwirtschaftlichen Biogasnutzung und der Grubengasnutzung jeweils mit einem rechnerischen Abschlag von 50 % belegt.

Maßnahmenpaket im Bereich der Landwirtschaft

Emissionen aus der Landwirtschaft entstehen zu erheblichen Teilen bei natürlichen Prozessen, auf die nur bedingt Einfluss genommen werden kann. Bei Maßnahmen im Bereich der Tierhaltung sind außerdem die Anforderungen an eine tiergerechte Haltung zu berücksichtigen.

CH_4- und N_2O-Emissionsminderungen im Bereich der Landwirtschaft sind durch eine Reihe von Maßnahmen zu erzielen, z. B. durch

- Senkung des Stickstoffüberschusses durch agrarpolitische Neuorientierungen im Rahmen der Agrarwende (z. B. Ausbau des ökologischen Landbaus, Umsteuerung zu einer nachhaltigen Produktion), d. h. Vergrößerung des Flächenanteils des *ökologischen Landbaus* und anderer extensiver landwirtschaftlicher Produktionsverfahren, deren wirksamer Beitrag zum Klimaschutz durch den Einsatz moderner Techniken oder Verfahrensverbesserungen und eine möglichst marktnahe Erzeugung geleistet wird.

- Verbesserungen und Verbreitung produktionstechnischer Innovationen bei Düngung (z. B. effizienter Einsatz von GPS).

- Ressourcenschonende Nutzung organischer Düngung und damit Verringerung des Einsatzes mineralischer Düngemittel, also Weiterverfolgung des rückläufigen Trends beim Stickstoff-Mineraldüngereinsatz je Hektar durch Anpassung der rechtlichen Rahmenbedingungen (z. B. Düngeverordnung, Bundesnaturschutzgesetz).

- Begrenzung der NH_3-Emissionen durch entsprechende Vorschriften (Düngemittelgesetz, DüngeVO; TA-Luft).

- Bodenschonende Bewirtschaftung und die Vermeidung von Stickstoffverlusten bei der Ausbringung von Düngemitteln.

- Einschränkungen beim Verbrauch besonders emissionsträchtiger N-Düngemittel (z. B. Harnstoff).

- Verstärkte Nutzung von Wirtschaftsdünger und nachwachsender Rohstoffe in landwirtschaftlichen *Biogasanlagen*. (Bei der Vergasung der Gülle wird die CH_4-Emission aus der Güllelagerung fast vollständig unterbunden).

- Weiterentwicklung von emissionsarmen und tiergerechten Haltungssystemen, sowie reduzierter Tierbesatz je Flächeneinheit. Solange es sich aber lediglich um regionale Verlagerungen des Tierbestandes handelt, bewirkt dies keine direkte Emissionsminderung der deutschen Landwirtschaft. Bei geringeren Tierbeständen je Flächeneinheit kann sich aber die Ausnutzung von Stickstoff aus tierischem Dung verbessern.

- Leistungssteigerungen des Einzeltiers (durch Züchtungs- und Fütterungsmaßnahmen), hier ist jedoch nur mit einem Effekt zu rechnen, wenn gleichzeitig die Tierbestände mit der Folge eines geringeren Wirtschaftsdüngeranfalls reduziert werden. Darüber hinaus können einer Leistungssteigerung durch Anforderungen an das Wohl der Tiere Grenzen gesetzt sein. Die Leistung wird in Zukunft vor allem durch die Lebensleistung der Tiere definiert werden. Inwieweit sich die Leistungssteigerungen der Vergangenheit noch fortsetzen lassen, ist derzeit offen.

- Verbesserung des einzelbetrieblichen Stickstoffmanagements. Eckpunkte hierfür sind in der UBA/KTBL/AID-Broschüre zur „Guten fachlichen Praxis der Minderung der Ammoniak-Emissionen aus der Landwirtschaft (AID 1454/2003)“ beschrieben. Dazu zählen: Abdeckung der Güllelagerstätten, effektive und emissionsarme Ausbringung,

nährstoffangepasste Fütterung sowie Erweiterung von Lagerkapazitäten für Wirtschaftsdünger und damit Einsatz des organischen Düngers zum optimalen Zeitpunkt.

- Ausweitung der Agrarinvestitionsförderung für umweltschonende Technologien (Stallbau, Lagerung, Ausbringung).

Natürliche Prozesse wie Nitrifikation und Denitrifikation von Stickstoff im Boden führen unvermeidbar zu N_2O-Emissionen, so z. B. der häufige Wechsel von Trocknung und Durchnässung in Feuchtgebieten. Deren Höhe hängt primär vom Stickstoffumsatz ab. Eine extensivere landwirtschaftliche Bodennutzung mit niedrigeren Gehalten an Stickstoff im Boden wie im ökologischen Landbau führt daher in der Regel zu sinkenden N_2O-Emissionen.

Der ökologische Landbau kann ferner einen Beitrag zur Verringerung der CO_2-Emissionen (nicht eigentlicher Gegenstand dieses Abschnitts, hier nachrichtlich mit ausgewiesen) wegen des Verzichts auf chemisch-synthetische Dünge- und Pflanzenschutzmittel leisten, bei deren Produktion entsprechende Emissionen anfallen (nicht dem Sektor Landwirtschaft zuzuordnen). Dies trifft in der Regel auch auf industriell hergestellte Mischfuttermittel zu. Die Treibhausgas-Emissionen aus dem Vorleistungsbereich des konventionellen Landbaus sind grundsätzlich höher als beim ökologischen Landbau (flächenbezogen um das dreifache, produktbezogen wegen der höheren Erträge in der konventionellen Variante um das zweifache). Da dies vor allem auf den Einsatz mineralischer Stickstoffdünger zurückzuführen ist, unterscheidet sich die ressourcenschonende konventionelle Variante mit kombinierter organischer / mineralischer Düngung produktbezogen meist nicht vom ökologischen Landbau (Bundesregierung 2000).

Es kann festgestellt werden, dass der ökologische Landbau durch eine geringere Flächenintensität zur Reduzierung der N_2O-Emissionen beitragen kann, aber nicht unbedingt die alleinige Maßnahme darstellen muss. Insgesamt sind unterschiedliche Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz (Vermeidung von N-Bilanz-Überschüssen) angezeigt (Osterburg 2003 a).

Schneider und Kaltschmitt (2002) legten in einer Abschätzung der Potenziale für Biomasse als erneuerbarer Energieträger auch eine Potenzialschätzung für die Biogasgewinnung aus tierischen Exkrementen vor. Auf Basis des verfügbaren und technisch nutzbaren Exkrementeaufkommens der Nutztierhaltung sowie des Einstreustrohs ergibt sich danach ein technisches Energieträgerpotenzial von ca. 96,5 PJ/a, wovon der überwiegende Anteil von rund 82 % dem

Rinderbestand zuzurechnen ist (13 % Schweine, 5 % Hühner). Bei der von den Autoren als Regelfall unterstellten Nutzung in Blockheizkraftwerken ergibt sich für Biogas aus tierischen Exkrementen und Einstreu ein technisches Angebotspotenzial an Strom von 7 TWh/a, dessen Nachfrage auch gewährleistet ist. Der nutzbare Anteil davon ergibt sich nach Abzug der Netzverluste. Hingegen leitet sich das technische Nachfragepotenzial Wärme vornehmlich aus dem jeweiligen Wärme- bzw. Prozessenergiebedarf am Standort ab. Unter Berücksichtigung des Wärmebedarfs von Viehhaltungsbetrieben lässt sich danach nur ein relativ geringes durchschnittliches Wärmenachfragepotenzial ableiten. Einem technischen Erzeugungspotenzial zwischen rund 40 PJ/a Wärme steht ein Nachfragepotenzial von knapp 11 PJ/a gegenüber.

Eine hinreichend sichere Quantifizierung des Gesamteffektes auf die Treibhausgasemissionen war bislang nicht möglich, weil u. a. in Deutschland viele verschiedene Formen des konventionellen Landbaus mit unterschiedlich hohen Treibhausgas-Emissionen anzutreffen sind und es im Bereich der Tierhaltung keine verlässlichen Untersuchungsergebnisse zu den Treibhausgas-Emissionen der Betriebe gibt (Problem der Referenzfall-Definition). Auch statistisch wurde bei den Treibhausgasinventaren bislang nicht zwischen konventionellem und ökologischem Landbau unterschieden (Bundesregierung 2000). Erstmals erfolgte diese Unterscheidung mit der Landwirtschaftszählung 1999. Derzeit werden von der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) Erhebungen zum Management in Betrieben durchgeführt. Zu den laufenden Aktivitäten bei der FAL zählt auch die Begleitforschung zur Umstellung auf ökologischen Landbau (Osterburg 2003 a).

Als Zuarbeit für die „IMA CO_2-Reduktion“ legte die FAL im Auftrag des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) im Frühjahr 2003 erste vorläufige Abschätzungen des Beitrags der Landwirtschaft zur Entwicklung der Klimagasemissionen in Deutschland bis zum Jahr 2010 vor (Osterburg 2003 b). Unter der auf Basis einer Zielsetzung des BMVEL getroffenen Annahme, dass bis zum Jahr 2010 20 % der Fläche ökologisch bewirtschaftet wird, der Einsatz mineralischer Düngemittel um 10 – 15% rückläufig ist und entsprechend dem nationalen Klimaschutzprogramm 14 % der Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen verwertet werden, kann es danach zu einer Senkung der Treibhausgas-Emissionen zwischen 3,1 und 5,7 Mio. t CO_2-Äquivalent kommen.

Der ökologische Landbau trägt hierzu bei der unterstellten Ausweitung auf 20 % zwischen 2,6 und 3,9 Mio. t CO_2-Äquivalent bei, davon entfallen allerdings schon 1,5 bis 2,3 Mio. t auf

den vorgelagerten Bereich der Bereitstellung mineralischer N-Dünger (CO_2; nicht eigentlicher Gegenstand dieses Abschnitts; s. o.); es verbleibt rechnerisch ein Anteil zwischen 1,1 und 1,7 Mio. t CO_2-Äquivalent, der dem Sektor Landwirtschaft zuzuordnen ist.

Eine im ökologischen Landbau geringere Einzeltierleistung führt (bei gleichbleibender Milchquote) zu erhöhten Kuh- und Jungrinderbeständen und bei den Masttieren zu längeren Mastzeiten. Diese Umstände würden zu erhöhten CH_4-Emissionen führen, nach derzeitigen Abschätzungen tilgen sie aber nicht die positiven Effekte des ökologischen Landbaus bzw. der extensiven landwirtschaftlichen Produktion hinsichtlich der Treibhausgasemissionen. Rechnerisch wurde in der zusammenfassenden Übersicht 3.10-1 unter Würdigung dieser Unsicherheiten der niedrigere der beiden oben genannten Werte, also 1,1 Mio. t CO_2-Äquivalent als Beitrag des ökologischen Landbaus zur Emissionsminderung angesetzt.

Der Beitrag der landwirtschaftlichen Biogasnutzung wurde (im günstigsten Szenario) mit 1,4 Mio. t CO_2-Äquivalent veranschlagt (Osterburg 2003 b). Zur Vermeidung von Doppelzählungen wurde dieser Wert in der zusammenfassenden Übersicht 3.10-1 rechnerisch halbiert, die andere Hälfte wurde unter dem Effekt des Erneuerbare-Energien-Gesetzes subsummiert.

Zusammengefasst ergibt sich als zu erwartender Effekt des Maßnahmenpakets im Bereich Landwirtschaft eine Minderung von Treibhausgasemissionen um 1,8 Mio. t CO_2-Äquivalent, die sich aus 1,1 Mio. t CO_2-Äquivalent durch die Ausweitung des ökologischen Landbaus (überwiegend N_2O) sowie dem zuzurechnenden Anteil von 0,7 Mio. t CO_2-Äquivalent durch Ausweitung der landwirtschaftlichen Biogasnutzung (CH_4) ergeben.

Ablagerungsverordnung (AbfAblV)

Wegen des z. T. unzureichenden Vollzugs der TA Siedlungsabfall von 1993 sind die Ablagerungsanforderungen mit der seit 1.3.2001 geltenden Ablagerungsverordnung (Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen) verbindlich vorgeschrieben worden. Spätestens ab 01. 06. 2005 dürfen somit nur noch Abfälle abgelagert werden, die die Erreichung der Emissionsminderungsziele bei Treibhausgasen nicht gefährden. In ihrem Koalitionsvertrag bekräftigte die Bundesregierung im Jahr 2002, dass die beschlossene Frist 2005 nicht verändert werde. Um dieses Ziel zu erreichen, ist insbesondere zu gewährleisten, dass die Ablagerungsanforderungen für Siedlungsabfälle (keine Ablagerung von unbehandeltem Hausmüll) auch fristgerecht umgesetzt werden.

Bioabfallverordnung

Weiterhin wurden durch die getrennte Erfassung von Bioabfällen in den letzten Jahren und durch die mit der seit 1998 geltenden Bioabfallverordnung geregelte Behandlung von Bioabfällen und die damit ebenfalls geregelte Verwertung der hergestellten Komposte auf land- und forstwirtschaftlich sowie gärtnerisch genutzten Flächen erhebliche Mengen biologisch abbaubarer Abfälle von den Deponien ferngehalten und einer Verwertung zugeführt (im Jahr 2000 ca. 7 Mio. t).

Altholzverordnung

Auch mit der Altholzverordnung werden Rahmenbedingungen für die Verwertung von Altholz geschaffen, die dafür sorgen werden, dass bereits vor 2005 dieses nicht wie bisher zu großen Teilen auf die Deponien gelangt und dort zur Bildung von Deponiegas beiträgt.

Deponieverordnung (DepV)

Bei Sonderabfällen wurde durch die Anforderungen der TA Abfall von 1991, verbunden mit spezifischen Förderprogrammen, in den vergangenen 10 Jahren bereits eine deutliche Reduktion der Treibhausgasemissionen erreicht. Diese Anforderungen werden in der Deponieverordnung, die am 1. August 2002 in Kraft getreten ist, rechtlich verbindlich vorgeschrieben.

Erklärung der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge II

Ausdehnung der Selbstverpflichtung der deutschen Wirtschaft von 1996 zur Emissionsreduktion: Minderung CO_2 bis 2005: 28 % (vorher 25 %); Minderung der so genannten Kyoto-Gase bis 2012 um 35 %; vorher um 21 % bis 2008/2012) im Vergleich zu 1990.

Verstärkte Grubengasnutzung im Rahmen der Verpflichtung des Gesamtverbandes des deutschen Steinkohlenbergbaus

Der Gesamtverband des deutschen Steinkohlenbergbaus ist der Klimavereinbarung zwischen der deutschen Industrie und der Bundesregierung beigetreten. Wesentliche Eckpunkte der Zusage sind neben einer Verminderung der CO_2-Emissionen aus produktionsbedingtem Energieverbrauch die Verminderung der in die Atmosphäre abgegebenen Methanemissionen aus aktiven und stillgelegten Bergwerken. Während an der Saar und in Ibbenbüren bereits heute eine nahezu vollständige Verwertung abgesaugter Grubengasmengen erzielt werden, sollte bis Ende 2002 in Nordrhein-Westfalen durch eine Reihe von BHKW-Projekten auf aktiven und stillgelegten Bergwerken eine Emissionsminderung von etwas 2,5 Mio. t/a CO_2-Äquivalent

erzielt werden (CH_4-Emissionsminderung und Effekt der energetischen Nutzung von Grubengas). Der Förderung durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz wird dabei besondere Bedeutung beigemessen (Röhner 2002). Insgesamt geht die deutsche Steinkohlewirtschaft von einer erwarteten Emissionsminderung zwischen 2000 und 2010 allein bei Methan in Höhe von 3,8 auf dann 5,4 Mio. t/a CO_2-Äquivalent aus, entsprechend einem Rückgang um rund 180 kt CH_4 aus. Von Verbandsseite wird ein Rückgang der gesamten Spurengas-Emissionen von 12,7 auf 7,7 Mio. t/a CO_2-Äquivalent erwartet, wobei der Verband davon absah, detaillierte Angaben zu diesem Zahlengerüst zur Verfügung zu stellen, die eine präzise Zurechnung zu den einzelnen Treibhausgasen zuließe. (GVST 2002 und 2003).

3.10.1.2.2 Distickstoffoxid (N_2O)

Die N_2O–Emissionen in Deutschland stammen hauptsächlich aus industriellen Produktionsprozessen (insbesondere Adipinsäureherstellung), der Landwirtschaft und aus der Verbrennung fossiler Energieträger, v. a. aus den Abgasen von Kraftfahrzeugen von Kohlefeuerungen. Bei letzteren fallen hauptsächlich Wirbelschichtfeuerungsanlagen mit vergleichsweise hohen N_2O-Konzentrationen im Abgas auf; bei ihnen können die Konzentrationen in der gleichen Größenordnung liegen wie die NO_x-Konzentrationen; bei anderen Feuerungsbauarten zum Einsatz von Kohlen (Staub- und Rostfeuerungen) sind die N_2O-Emissionskonzentrationswerte um 1 bis 2 Größenordnungen kleiner als die NO_x-Konzentrationen.

N_2O-Minderungsmöglichkeiten an Wirbelschichtfeuerungen wurden insbesondere in den 90er-Jahren untersucht; im Vordergrund stand die Vermeidung einer zu starken Absenkung der mittleren Temperatur in der Wirbelschicht, was ansonsten einer geringen NO_x-Bildung förderlich ist. Die Minderung von NO_x und N_2O weist also eine gewisse Gegenläufigkeit aus. Der Sachverhalt stellt ein Beispiel für die Grenzen integrierter Technologien dar.

Wichtige Maßnahmen für N_2O vor 1998, die der Referenzentwicklung zugeordnet werden, sind:

- Technische Maßnahmen bei der Adipinsäureproduktion (freiwillige Vereinbarung), wirksam seit 1996, seither deutliche Verringerung der Emissionen aus diesen Quellen;
- Düngeverordnung (Landwirtschaft), in Kraft seit 1996 (N_2O).

Zu betrachtende Maßnahmen im Bereich von N_2O seit 1998:

Hier sind vor allem Maßnahmen im *Energiebereich* zu nennen: Der Energiebereich wird durch zwei unterschiedliche Entwicklungen bestimmt. Einerseits führten die verstärkte Ausstattung der Kraftfahrzeuge mit 3-Wege-Katalysatoren und eine Zunahme des Verkehrs allgemein zu einer Erhöhung der N_2O-Emissionen, andererseits sanken die N_2O-Emissionen bei stationären Verbrennungsanlagen parallel zur Entwicklung der CO_2-Emissionen. Durch die Einführung verbesserter Katalysatoren können die verkehrsbedingten N_2O-Emissionen moderat gehalten werden. Unterstützt wird diese Entwicklung durch die seit 01. 01. 2000 in Kraft getretene Richtlinie 98/ 70 EG über die schrittweise Einführung schwefelärmerer Kraftstoffe.

Weiterhin soll hier auch die *Erklärung der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge II* mit weiteren noch nicht spezifizierten Maßnahmen greifen (siehe CH_4).

3.10.1.2.3 „F-Gase“ (H-FKW, CF_4, C_2F6, SF_6)[107]

Wasserstoffhaltige Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW) werden seit Anfang der 90er Jahre zunehmend als Ersatzstoffe für die die Ozonschicht schädigenden und treibhauswirksamen FCKW bzw. H-FCKW eingesetzt. Die H-FKW-Emissionen stammen in erster Linie aus der Nutzung dieser Gase in verschiedenen Anwendungen: Treibmittel in Polyurethan-Montageschaum-Sprays, stationäre bzw. mobile Kühlung, Polyurethan-Schaumstoffe, die teilweise mit H-FKW getrieben werden, der Einsatz als Aerosol in Asthma-Sprays bzw. technischen Kälte- und Druckluftsprays und die Halbleiterherstellung.

Die mit Abstand größte Quelle für Emissionen von *perfluorierten Verbindungen (CF_4, C_2F_6)* ist trotz erheblicher Reduktion seit 1990 gegenwärtig die Produktion von Primäraluminium, gefolgt von der Nutzung dieser Gase als Ätzgase in der Halbleiterherstellung. Darüber hinaus werden perfluorierte Verbindungen während der Leiterplattenfertigung und aus Kühlgeräten emittiert, da sie hier als Kältemittel verwendet werden.

---

[107] Nach Abschluss der Arbeiten am Projekt „Politikszenarien III“ ergab sich das Problem, dass sich die Einschätzung einiger Maßnahmen im Bereich der F-Gase, die noch Anfang 2003 als sicher beschlossen und als noch in 2003 umgesetzt angesehen wurden, mittlerweile geändert hatte. Im Zuge der Überarbeitung des Berichtsentwurfs wurden die Vorbehalte (Formulierungen des Umweltbundesamtes 2003) in den Text integriert. Gemäß Entscheidung auf der Abschlusspräsentation am 06. 11. 2003 erfolgte aber keine quantitative Berücksichtigung in Übersicht 3.10-1.

Emissionen aus Schallschutzfenstern, aus Betriebsmitteln der elektrischen Energieversorgung, aus NE-Metallgießereien sowie aus der Verwendung in Sportschuhen und Autoreifen sind die wesentlichen Quellen für Emissionen von *Schwefelhexafluorid (SF_6)*. Die Anwendung von SF_6 als Ätzgas in der Halbleiterindustrie ist eine kleinere Emissionsquelle.

Wichtigste Maßnahme für die Verminderung der Emissionen von H-FKW, FKW und SF_6 vor 1998, die hier der Referenzentwicklung zugeordnet wird, ist die Selbstverpflichtung der deutschen Primäraluminiumindustrie (seit 1997).

Zu betrachtende *Maßnahmen im Bereich der F-Gase seit 1998:*

<u>H-FKW (Wasserstoffhaltige Fluorkohlenwasserstoffe)</u>

Stationäre Kälte: Jährliche Wartungspflicht auf Kälte- und Klimaanlagen mit H-FKW

Bei der stationären Kälte hat die Bundesregierung im IMA-CO_2-Bericht (2000) die Einführung einer Wartungspflicht in Anlehnung an die EG-Verordnung Nr. 2037/2000 „über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen“ als effiziente Maßnahme vorgeschlagen. Durch die Ausdehnung der für ozonschichtschädigende Stoffe geltenden Wartungspflicht auf Kälte- und Klimaanlagen mit mehr als 1 kg HFKW als Kältemittel sollten die H-FKW-Emissionen aus diesen Anlagen reduziert werden. Eine nationale Rechtsverordnung oder eine EU-weite Regelung wurde als erforderlich angesehen. Den Vorschlag der Einführung einer Wartungspflicht hat das BMU im Eckpunktepapier (BMU 2002) zur Umsetzung des Klimaschutzprogramms im Bereich der F-Gase aufgegriffen und durch weitere „Allgemeine Anforderungen“ ergänzt. Hierzu zählt eine Pflicht zur emissionsarmen Entsorgung ebenso wie eine Kennzeichnungspflicht.

Eine Umsetzung der Vorschläge in eine nationale Rechtsverordnung sollte zunächst zusammen mit der Umsetzung von Anforderungen zu ozonschichtschädigenden Stoffen erfolgen, die sich aus der EG-Verordnung Nr. 2037/2000 ergeben. Am 11. August 2003 hat die Europäische Kommission (KOM) einen Vorschlag für eine Verordnung über bestimmte fluorierte Treibhausgase vorgelegt, der diesen Bereich ebenfalls erfasst. Von einem Inkrafttreten einer Wartungspflicht zum 01. Januar 2004 kann derzeit nicht mehr ausgegangen werden. Damit kann sich - in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Umsetzung der Maßnahme - der im Jahr 2000 für das Jahr 2010 angenommene Effekt verringern.

Mobile Kälte: Ablösung von HFKW-Klimaanlagen durch CO_2-Anlagen in Fahrzeugen ab 2007

Mobile Klimaanwendungen bei Pkw tragen heute zu einem erheblichen Umfang zu den H-FKW-Gesamtemissionen bei. Dies liegt vor allem an dem sprunghaften Anstieg der Ausstattungsquote mit Klimaanlagen bei Neufahrzeugen, welcher auch von einer verbesserten Anlagendichtheit nicht kompensiert werden kann. Seit einigen Jahren zeichnet sich jedoch mit CO_2 ein halogenfreies Substitut ab, dessen Markteinführung absehbar ist. Die Höhe der längerfristigen Emissionsentwicklung (2010/2020) hängt entscheidend vom Zeitpunkt der flächendeckenden Markteinführung dieser Technologie ab. Der oben genannte Vorschlag der KOM legt den 01. Januar 2009 als Ausstiegsbeginn fest, lässt aber als Substitut H-FKW mit einem GWP von bis zu 150 zu.

XPS-Hartschäume und PU-Schäume

Seit 1998 müssen auch XPS-Dämmplatten als Emissionsquelle für H-FKW (CH_2FCF_3 und $C_2H_4F_2$) mit betrachtet werden. Bis zu diesem Zeitpunkt wurden XPS-Dämmstoffe mit H-FCKW als Ersatz für die FCKW geschäumt. Im Zuge des weiteren Ausstiegs aus den Ozonschicht zerstörenden Stoffen, werden von einem Teil der Hersteller heute H-FKW eingesetzt. Maßnahme: Substitution von H-FKW durch CO_2 und Ethanol.

Auch zur Herstellung von PU-Hartschäumen könnten zukünftig vermehrt H-FKW eingesetzt werden. Im Bereich der Schäume hatte die Bundesregierung im letzten Klimaschutzprogramm die weitgehende Substitution des Treibmittels HFKW (PU-Montageschaum) oder den Verzicht auf die (weitere) Einführung von HFKW als Treibmittel (PU-Schaumprodukte und XPS-Hartschäume) diskutiert.

Auch diese Vorschläge hat das BMU (2002) im Eckpunktepapier zur Umsetzung des Klimaschutzprogramms im Bereich der F-Gase aufgegriffen und ordnungsrechtliche Maßnahmen vorgeschlagen. Die Konkretisierung wird mit der Wirtschaft noch diskutiert. Dabei sind auch andere Instrumente wie z.B. freiwillige Maßnahmen nicht ausgeschlossen.

Dosieraerosole

In der H-FKW-Anwendung als Treibgas in medizinischen Dosieraerosolen (z. B. zur Behandlung von Asthma) hatte die Bundesregierung die Förderung des Marktanteils von Pulverinhalatoren vorgeschlagen. Obwohl sich der Marktanteil von alternativ einsetzbaren Pulverinhala-

toren in den letzten Jahren erhöht hat, besteht weiterer Handlungsbedarf. Auf Grund der bei medizinischen Anwendungen zu beachtenden Besonderheiten hatte die Bundesregierung in diesem Bereich freiwillige Maßnahmen als besonders geeignet angesehen. Eine gezielte Umsetzung von Maßnahmen konnte bisher nicht erreicht werden.

Im Klimaschutzprogramm des Jahres 2000 waren weitere, insbesondere neue Anwendungen (z. B. Feuerlöschmittel) angesprochen. Zu diesen sind ebenfalls Maßnahmen in der Diskussion; eine Umsetzung ist aber noch offen.

FKW (Perfluorierte Fluorkohlenwasserstoffe)

Modernisierungs- und Substitutionsprozesse bei der Halbleiterherstellung

Etwa 30 % der FKW-Emissionen stammen aus der Nutzung dieser Gase als Ätzgase in der Halbleiterherstellung. Als eine geeignete Option zur Bremsung der Emissionszunahme aus der Halbleiterindustrie hatte die Bundesregierung die Substitution des Ätzgases FKW durch NF_3 gesehen. Mit dieser Maßnahme sollte der Emissionsanstieg aus dieser Quelle auf weniger als die Hälfte begrenzt werden. In den deutschen Produktionsstätten fand zwar nur eine geringe Substitution durch NF_3 statt, aber die FKW-Emissionen sind im Jahr 2001 dennoch u. a. durch den Einsatz verbesserter Technologien zunächst wieder gesunken.

Der Weltverband der Halbleiterindustrie (WSC) hat sich bereits 1999 verpflichtet, die Emissionen von fluorierten Gasen bis 2010 um 10 % gegenüber 1995 zu senken. Zwischenzeitlich hat der Europäische Verband eine gleichlautende Verpflichtung der EU Kommission vorgelegt. Eine nationale Selbstverpflichtung wird derzeit auf der Basis eines von der Industrie vorgelegten Entwurfs diskutiert. Der Industriezweig zeichnet sich durch ein prognostiziertes starkes Wachstum und eine schnelle Entwicklung verschiedener Herstellungstechnologien aus.

Modernisierungs- und Optimierungsprozesse bei der Aluminiumherstellung

Durch umfangreiche Modernisierungsmaßnahmen in deutschen Aluminiumhütten und die Stilllegung von Produktionskapazitäten sanken die absoluten FKW-Emissionen (in t) aus diesem Sektor zwischen 1995 und 2002 um 71 %. Bis 2010 ist mit weiteren FKW-Reduktionen aufgrund fortlaufender Modernisierungen um ca. 0,1 Mio. t CO_2-Äquivalent zu rechnen. Eine

vollständige Umstellung auf modernste Technik (Pointfeeder-Technologie) würde eine weitere Reduktion um 0,1 Mio. t CO_2-Äquivalent nach sich ziehen.

SF_6 (Schwefelhexafluorid)

Schutzgas (Magnesium)

SF_6 wird als Schutzgas bei der Verarbeitung von Magnesium eingesetzt. Als Ersatz steht SO_2 zur Verfügung und wird in einigen Magnesiumgießereien seit Jahren eingesetzt. In den letzten Jahren wurden im Rahmen von Forschungsprogrammen weltweit neben SO_2 weitere Alternativen entwickelt, die in Pilotanlagen getestet wurden und inzwischen kommerziell vertrieben werden. Aufgrund der toxischen Eigenschaften erfordert die Verwendung von SO_2 anstelle von SF_6 sicherheitstechnische Umbaumaßnahmen, deren Kosten bei kleineren Magnesium-Gießereien nicht durch die verringerten Betriebskosten aufgewogen werden. Demgegenüber führt eine Umstellung auf die neu entwickelten Alternativen auch bei kleineren Betriebsgrößen zu einer Gesamtkostenreduktion. Zur Gewährleistung einer für jede Gießerei optimierten Gesamtlösung bei Prozessumstellungen wird eine vollständige Umstellung auf Alternativen nicht vor 2007 möglich sein. Der oben genannte Verordnungsvorschlag der KOM sieht ein auf große Gießereien beschränktes Anwendungsverbot vor. Der im Jahr 2010 erzielte Effekt hängt von der konkreten Ausgestaltung dieser oder anderer Maßnahmen ab.

Einsatz von SF_6 in Schallschutzfenstern

Gegenwärtig stellen Emissionen aus Schallschutzfenstern die größte Emissionsquelle von SF_6 dar. SF_6 wurde hier in größerem Umfang zur Verbesserung der Schallisolation eingesetzt. Die durch SF_6 erzielte geringfügige Verbesserung dieser Eigenschaft ist allerdings mit einer schlechteren Wärmedämmleistung verbunden. Die höhere Prioritätensetzung in Richtung Wärmeschutz, z. B. durch die Wärmeschutzverordnung, aber auch das hohe Treibhauspotenzial von SF_6 haben dazu geführt, dass der Einsatz von SF_6 in dieser Anwendung seit Mitte der 90er Jahre zurückgeht. Eine gleichwertige Schalldämmung wie durch SF_6 wird durch Ersatztechnologien, z. B. schalldämmende Fensterkonstruktionen erreicht.

Den Vorschlag gesetzlich geregelter Verwendungsverbote für SF_6 in Isolierglasfenstern hat das BMU (2002) im Eckpunktepapier zur Umsetzung des Klimaschutzprogramms im Bereich der F-Gase aufgegriffen. Allerdings werden die SF_6-Emissionen infolge von Entsorgungs-

emissionen aus Schallschutzfenstern am Ende ihrer Lebensdauer aus diesem Bereich in jedem Falle bis 2020 nochmals kräftig ansteigen.

Der oben genannte Verordnungsvorschlag der KOM erfasst auch diesen Bereich. Es ist von Verzögerungen des Inkrafttretens eines Verwendungsverbots auszugehen. Damit wird der im Jahr 2000 für das Jahr 2010 angenommenen Effekt geringer ausfallen, hängt aber letztlich vom Zeitpunkt der Umsetzung der Maßnahme ab.

Befüllung von Autoreifen mit SF_6

Eine weitere Emissionsquelle von SF_6 sind Autoreifen, die aus Imagegründen – die verbesserte Druckkonstanz ist nicht praxisrelevant – mit SF_6 befüllt sind. Reifenhersteller verzichten aufgrund der Klimarelevanz von SF_6 inzwischen auf Werbung für diese Anwendung. Dies hat zu einem deutlichen Rückgang geführt. Heutige Emissionen stammen zum überwiegenden Teil aus alten Reifenbefüllungen. Den Vorschlag gesetzlich geregelter Verwendungsverbote für SF_6 in Autoreifen und Isolierglasfenstern hat das BMU im Eckpunktpapier zur Umsetzung des Klimaschutzprogramms im Bereich der F-Gase aufgegriffen. Auch der Verordnungsvorschlag der KOM sieht ein Verbot vor. Die Erreichung des für das Jahr 2010 geschätzten Effekts hängt vom Zeitpunkt des Verbots ab.

SF_6 aus elektrischen Betriebsmitteln

Elektrische Betriebsmittel sind inzwischen die zweitgrößte Quelle für SF_6-Emissionen. Bereits im Jahr 1996 haben der ZVEI (Zentralverband Elektrotechnik und Elektroindustrie e.V.) und der VDEW (Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke e.V.) gegenüber dem BMU eine freiwillige Erklärung zu SF_6 abgegeben. Darin verpflichten sie sich, SF_6-Emissionen – wo immer möglich – zu vermeiden. Als Maßnahmen können eine garantierte Leckrate < 1 %, die Rückgewinnung und Wiederverwendung und ggf. umweltfreundliche Entsorgung genannt werden. Der Hersteller von SF_6, Solvay Deutschland, ist in die freiwillige Erklärung einbezogen. Die freiwillige Erklärung wird derzeit an die aktuelle Situation angepasst und in Teilen erweitert.

Auch zu *weiteren Anwendungen (z. B. als Reinigungsgas)* werden in Deutschland Maßnahmen diskutiert; eine Umsetzung ist aber noch offen.

Literatur zu Kapitel 3.10.1

BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (2002): Eckpunktepapier: Umsetzung des nationalen Klimaschutzprogramms im Bereich der fluorierten Treibhausgase (H-FKW, FKW, SF6) – F-Gase -. http://www.bmu.de/download/dateien/eckpunktepapier_f_gase.pdf. Stand September 2002

Bundesregierung (2000): Nationales Klimaschutzprogramm. Beschluss der Bundesregierung vom 18. Oktober 2000 (Fünfter Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe „CO_2-Reduktion“). Berlin, 18. Oktober 2000

Bundesregierung (2002): Dritter Nationalbericht zum Klimaschutz in Deutschland (Dritter Bericht der Bundesrepublik Deutschland an die Vertragsstaatenkonferenz gemäß Artikel 12 Klimarahmenkonvention), Berlin

GVST (Gesamtverband des deutschen Steinkohlenbergbaus) (2002): Steinkohle Jahresbericht 2002, Essen

GVST (Gesamtverband des deutschen Steinkohlenbergbaus) (2003): Persönliche Mitteilungen

KOM – Europäische Kommission (2003): Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über bestimmte fluorierte Treibhausgase vom 11. 08. 2003, KOM(2003) 492, Brüssel

Osterburg, B. (Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft) (2003a): Persönliche Mitteilung. Braunschweig; weitere ergänzende Informationen im Zuge der Endberichtserstellung 2004

Osterburg, B. (2003b): Rechnerische Abschätzung der Klimagasemissionen aus der Landwirtschaft in Deutschland im Jahr 2010. Studie im Auftrag des BMVEL. Braunschweig

Röhner, W. (2002): Grubengasnutzung im deutschen Steinkohlenbergbau. Glückauf 138 (2002) Nr. 7/8, S. 365 – 369

Schneider, S.; Kaltschmitt, M. (2002): Potenziale und Nutzung. In: Hartmann, H.; Kaltschmitt, M. (Hrsg.): Biomasse als erneuerbarer Energieträger. Eine technische, ökologische und ökonomische Analyse im Kontext der übrigen erneuerbaren Energien. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“, Band 3, 2. Auflage. Landwirtschaftsverlag Münster

Schwarz, W.; Leisewitz, A. (1999): Emissionen und Minderungspotentiale von HFKW, FKW und SF6 in Deutschland, Forschungsbericht 298 41 256, Studie der Öko-Recherche GmbH im Auftrag des Umweltbundesamtes, Oktober 1999

Schwarz, W. (2003): Emissionen und Emissionsprognose von HFKW, FKW und SF_6 in Deutschland – Aktueller Stand und Entwicklung eines Systems zur jährlichen Ermittlung. Untersuchung der Öko-Recherche GmbH im Auftrag des Umweltbundesamtes. Interne Informationen und Zwischenbericht März 2003

Schön et al. (1997): Politikszenarien für den Klimaschutz, Band 2: Emissionsminderungsmaßnahmen für Treibhausgase, ausgenommen energiebedingtes CO_2, Hrsg:. G. Stein und B. Strobel, Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt, Jülich

Schön, M. et al. (2000): Informationsgrundlage für das Umweltpräsentationssystem des BMU „Umwelt 2000 im Rahmen des Teilvorhabens 2 des Globalansatzes Expo 2000“. Studie und Datensammlung des Fraunhofer-Instituts für Systemtechnik und Innovationsforschung (Federführung), des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung, des ifeu-Instituts für Energie- und Umweltforschung sowie des Forschungsinstituts für anwendungsorientierte Wissensverarbeitung im Auftrag des Umweltbundesamtes. Studie: FhG-ISI-Bericht, Karlsruhe/ Berlin/ Heidelberg/ Ulm 2000; Datenanhang: UBA-Texte 61/01, Umweltbundesamt Berlin 2002 (CD-ROM)

UBA (Umweltbundesamt; 2003): Interne Informationen zum IMA-CO_2-Bericht 2003: Entwurf Kapitel VII „Fluorierte Klimagase“ und „Kurze Darstellung der den Emissionsszenarien zu Grunde liegenden Annahmen“, Berlin

UBA (Umweltbundesamt; 2004): Persönliche Mitteilung zur Untersuchung der Öko-Recherche GmbH (Schwarz 2003; s. o.) und Formulierungen zur aktualisierten Einschätzung der Maßnahmen im Bereich der F-Gase, Berlin

UBA (Umweltbundesamt; 2004): „CRF Germany – 2004 – 2002“. Emission inventory, revised submission, 26. 03. 2004, Berlin

3.10.2 **Nicht-energiebedingte CO_2-Emissionen** (Öko-Institut):

Die nicht-energiebedingten (prozessbedingten) CO_2-Emissionen werden in Deutschland vor allem durch die Herstellung von Zementklinker verursacht. Im Wesentlichen abhängig von der Baukonjunktur bewegten sich die nicht-energiebedingten CO_2-Emissionen aus der Zementproduktion seit 1990 zwischen 13,9 und 16,2 Mio. t CO_2. bzw. von 57 bis 61 Prozent an den gesamten nicht-energiebedingten CO_2-Emissionen.[108]

Mit deutlichem Abstand bildet die Herstellung von Kalk den zweitgrößten Verursacherbereich. Die Emissionen liegen hier in der Bandbreite von 5,4 bis 6,5 Mio. t CO_2 bzw. 21 bis 24 Prozent der Gesamtemissionen (Tabelle 3.10-1).

Tabelle 3.10-1 Entwicklung der nicht-energiebedingten CO_2-Emissionen nach Quellbereichen, 1990 bis 2001

	1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
	Mio. t CO_2							
Zementklinker	16,15	15,78	14,57	14,97	15,55	15,67	15,64	13,86
Kalk	6,42	5,99	5,42	5,65	5,49	5,76	5,84	5,90
Synthese-Ammoniak	1,75	1,79	1,77	1,76	1,77	1,70	1,82	1,80
Glas	1,21	1,44	1,41	1,44	1,45	1,49	1,50	1,50
Hüttenaluminium	0,90	0,70	0,70	0,70	0,75	0,77	0,79	0,80
Soda	0,74	0,58	0,60	0,60	0,62	0,60	0,54	0,55
Calciumcarbid	0,44	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
Summe	27,61	26,31	24,50	25,14	25,65	26,02	26,14	24,41

Quelle: Umweltbundesamt

Deutlich geringere Emissionen bzw. Anteile entfallen auf die Herstellung von Synthese-Ammoniak, Glas, Hüttenaluminium, Soda und Kalziumkarbid. Einige weitere Quellen für nicht-energiebedingte CO_2-Emissionen mit eher sehr geringen Emissionsvolumina (Rauchgasentschwefelung, Zellstoffherstellung, Karbonatumsatz in Hochöfen) werden bisher in den deutschen Treibhausgasinventaren nicht erfasst.

Die bisher ergriffenen Maßnahmen zur Minderung der nicht-energiebedingten CO_2-Emissionen erstrecken sich vor allem auf die Zementproduktion sowie diejenigen Quellbereiche, für die Emissionsminderungen aus einem verstärkten Recycling resultieren, also vor allem die Glasproduktion.

[108] In der hier vorliegenden Arbeit werden die auf Basis der bisher für die nationale Berichterstattung verwendeten Verfahren und Emissionsfaktoren ermittelten Emissionen genutzt. Im Prozess der Datenvalidierung für

Von der am 9. November 2000 zwischen Verbänden der Wirtschaft und der Bundesregierung geschlossenen „Vereinbarung der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der Deutschen Wirtschaft zur globalen Klimavorsorge“ ist bezüglich der nicht-energiebedingten CO_2-Emissionen die Zementindustrie erfasst.

Die deutsche Zementindustrie hat hier eine Minderung der energiebedingten spezifischen CO_2-Emission für die Periode 1990 bis 212 um 28 % zugesagt. Für die gesamten spezifischen CO_2-Emissionen ist sie eine Minderungszusage von 16 % eingegangen. Für die nicht-energiebedingten CO_2-Emissionen lässt sich daraus eine spezifische Minderungszusage von ca. 6 % ableiten.[109]

Die Abbildung 3.10-1 zeigt die Entwicklung der spezifischen nicht-energiebedingten CO_2-Emissionen je Tonne Zement. Die erzielten Minderungen sind dabei vor allem durch die Substitution von Zementklinker durch andere Stoffe erzielt worden. Diese Materialien können einen Teil des Klinkers ersetzen, ohne dass es zu Einschränkungen der Leistungsfähigkeit des Zements im Beton kommt. Bei genormten Zementen betrug der Anteil des produzierten Portlandzements im Jahr 2000 nur noch etwa 61 %. Die übrigen 39 % der Zemente enthielten außer Klinker andere Hauptbestandteile wie Hüttensand, Puzzolane, Ölschieferabbrand und Kalkstein. Besonders relevant sind als Stoffe, die Zementklinker im Zement ersetzen können, in Deutschland in erster Linie Hüttensand[110] (granulierte Hochofenschlacke) und daneben Kalkstein von technischer Bedeutung. Voraussetzung für die stärkere Substitution von Zementklinker durch andere Stoffe ist neben der Funktionalität jedoch auch die Kundenakzeptanz.

Wie die Abbildung verdeutlicht, wurde die langfristige Minderungszusage in Bezug auf die nicht-energiebedingten CO_2-Emissionen bereits im Jahr 2001 im zwei Prozentpunkte übertroffen (-8 % gegenüber 1990), wobei sich 2002 der spezifische Emissionswert wieder leicht erhöhte. Im Vergleich zu einer Entwicklung, in der Klinkeranteil auf dem Niveau von Mitte der neunziger Jahre konstant geblieben wäre, lässt sich bei Umsetzung des 6 %-Minderungsziels für den Zeitraum 2008/12 eine Emissionsminderung von ca. 0,9 Mio. t CO_2

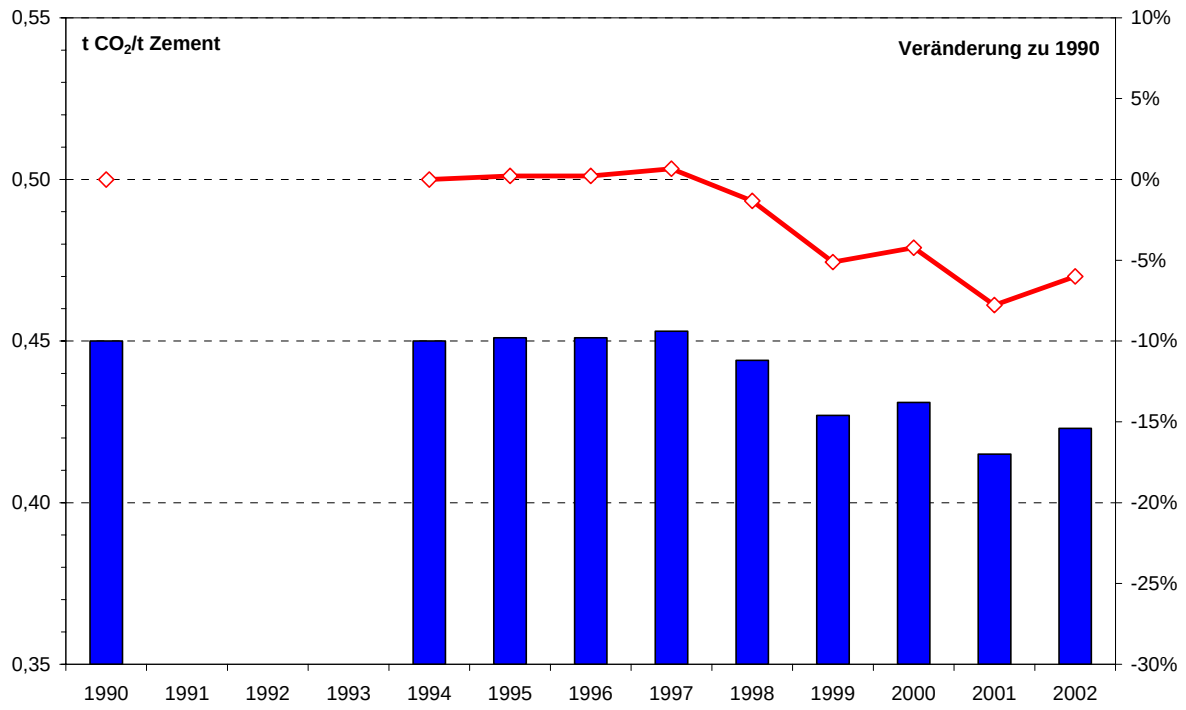
---

die internationale Berichterstattung sowie durch die Gewinnung detaillierter Daten im Rahmen des EU-Emissionshandels werden sich hier noch leichte Verschiebungen ergeben.

109 Bei einem Anteil der nicht-energiebedingten CO_2-Emissionen von knapp 60 % ergibt sich diese Größenordnung aus der Differenz von 12 Prozentpunkten zwischen beiden Minderungszusagen.

ableiten. Gerade die Entwicklung der letzten Jahre lässt erwarten, dass eine weitere Verringerung des Klinkeranteils sowie ein erhöhter Anteil von Substituten erwartet werden kann. Durch die zu erwartende Überführung der Selbstverpflichtungsvereinbarung in das EU-Emissionshandelssystem – das die nicht-energiebedingten CO_2-Emissionen der Zementindustrie mit erfassen wird – wird sich die Fortsetzung dieser Strategie vor allem aus der kostenseitigen Einordnung dieser Maßnahme ergeben.

Abbildung 3.10-1 Entwicklung der spezifischen nicht-energiebedingten CO_2-Emissionen in der Zementindustrie



Quelle: RWI (2002), VDZ (2002)

Zu den minderungswirksamen Instrumenten im Bereich der nicht-energiebedingten CO_2-Emissionen aus der Glaserzeugung gehört der gesamte Komplex der abfallwirtschaftlichen Regelungen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz, Verpackungsverordnung, Gewerbeabfallverordnung, Altfahrzeugverordnung etc.). Durch den Zusatz von Altglas können die nicht-energiebedingten CO_2-Emissionen entsprechend gesenkt werden, von besonderer Bedeutung hier sind:

[110] Hüttensand ist ein Produkt der Roheisenherstellung und wird zur Herstellung von Portlandhütten- und Hochofenzementen verwendet.

- Der Einsatz von Scherben (Recyclingglas) betrug in der deutschen Behälterglasindustrie im Jahr 2002 ca. 47,7 % bei Braunglas, 71,5 % bei Grünglas und 55,1 % bei Weißglas und insgesamt ca. 57,9 % insgesamt. Recyclingquote in der Behälterglasindustrie (Jahresproduktion 2002: 4.164 t) ist von 1996 bis 2001 um ca. 8 Prozentpunkte gestiegen.

- Die Verwertung von Flachglas (Jahresproduktion 2002: 1.949 t) ist von 190.000 t im Jahr 1995 auf ca. 370.000 t gestiegen.

Auf Basis der Produktionsdaten für Behälter- und Flachglas, der erhöhten Recyclingquoten sowie den im Projekt Politikszenarien für den Klimaschutz I (Schön et. al. 1997) verwendeten Emissionsfaktoren kann für das erhöhte Glasrecycling in der Periode 2008/12 ein Minderungsbeitrag von ca. 0,14 Mio. t CO_2 abgeleitet werden. Insbesondere im Bereich des Flachglasrecyclings ist eine weitere Erhöhung des Anteils von Recyclingglas möglich.

Die Übersicht 3.10-2 zeigt die betrachteten Maßnahmen im Bereich der nicht-energiebedingten CO_2-Emissionen im Überblick.

Übersicht 3.10-2 Klimaschutzpolitische Maßnahmen im „Mit-Maßnahmen-Szenario“: Nicht-energiebedingten CO_2-Emissionen in der Industrie

Maßnahme/ Umsetzung/ Institution	Typ	Beschreibung/Ziele (Wirkungsbereich)	Umsetzungs-stand (Wirkungs-beginn)	Erwarteter Effekt 2008/2012 in Mio. t CO_2	Ausblick 2020 (qualitativ)
Erklärung der deutschen Wirtschaft zur Kolimaversorge II	V	Fortschreibung der Selbstverpflichtung der Zementindustrie (-28% bis 2012 für die spezifischen nicht-energiebedingten Emissionen und -16% bis 2012 für die gesamten spezifischen CO2-Emissionen, jeweils auf Basis 1990)	lfd. seit 2000 (Vereinbarung vom 9.11.2000)	-0,9	Weitere Reduk-tionen möglich
Kreislaufwirtschafts- und Abfall-Gesetz	R	Erhöhung des Recycling-Anteils für die Produktion der verschiedenen Glassorten	lfd.	-0,14	Weitere Reduktio-nen möglich
1) Gewichtete Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen auf die nicht-energiebedingten CO_2-Emissionen				**-1,0**	**leicht steigend**
2) Nicht-energiebedingte CO_2-Emissionen im "Mit-Maßnahmen-Szenario"				**24,4**	**leicht fallend**
3) Nicht-energiebedingte CO_2-Emissionen im Ohne-Maßnahmen-Szenario (1+2)				**25,4**	**leicht fallend**

Literatur zu Kapitel 3.10.2

AGV (Aktionsforum Glasverpackung) (2002): Zahlen und Fakten. (http://www.glasaktuell.de/frameset.php3?top=1&ID=3. Stand September 2003)

BDZ (Bundesverband der Deutschen Zementindustrie) (2003): Jahresbericht 2002-2003. Köln.

BDZ (Bundesverband der Deutschen Zementindustrie)/VDZ (Verein deutscher Zementwerke) (2002): Zementrohstoffe in Deutschland. Geologie, Massenbilanz, Fallbeispiele. Köln/Düsseldorf.

BV Glas (Bundesverband Glasindustrie) (2003): Jahresbericht 2002. Düsseldorf.

RWI (Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung) (2002): Die Klimaschutzerklärung der deutschen Industrie vom März 1996 – eine abschließende Bilanz. Monitoring-Bericht 2000. Fortschrittsberichte der Verbände. Essen.

Schön, M. et al. (1997): Politikszenarien für den Klimaschutz. Untersuchungen im Auftrag des Umweltbundesamtes. Herausgegeben von G. Stein und B. Strobel. Band 2: Emissionsminderungsmaßnahmen für Treibhausgase, ausgenommen energiebedingtes CO_2. Jülich: Forschungszentrum.

VDZ (Verein Deutscher Zementwerke) (2002): Umweltdaten der deutschen Zementindustrie 2001. Düsseldorf.

3.11 Zusammenfassung der Wirkungen der klimaschutzpolitischen Maßnahmen: Das „Mit-Maßnahmen-Szenario“ sowie das „Ohne-Maßnahmen-Szenario“ für das Jahr 2010 (DIW Berlin)

Die Ergebnisse der Wirkungsanalyse der in den unterschiedlichen Sektoren eingesetzten klimaschutzpolitischen Maßnahmen sind in Tabelle 3.11-1 und Tabelle 3.11-2 für das Jahr 2010 – symbolisierend die erste Verpflichtungsperiode 2008/2012 nach den Kyoto-Protokoll - zu einem geschlossenen „Mit-Maßnahmen-Szenario“ einerseits und einem „Ohne-Maßnahmen-Szenario“ andererseits zusammengefasst.[111]

Tabelle 3.11-1 Zusammenfassung: CO_2-Emissionen im Mit-Maßnahmen-Szenario sowie im Ohne-Maßnahmen-Szenario im Jahre 2010

Sektoren	Ist-Werte (unbereinigt)					Mit-Maßnahmen-Szenario (=Referenzszenario)				Wirkung der Einzelmaßnahmen	Ohne-Maßnahmen-Szenario		
	1990	1995	2000[1)]	2001[1)]	2002[1)]	2010[2)]	90/02[1)]	02[1)]/10	90/10		2010	02[1)]/10	90/10
	CO_2-Emissionen in Mio. t						Veränderungen in %			CO_2-Emissionen in Mio. t		Veränderungen in %	
Industrie	169,3	126,3	116,0	112,6	109,1	110,5	-35,6	1,3	-34,7	7,0	117,4	7,6	-30,6
GHD	90,5	68,1	59,2	63,0	59,0	57,9	-34,8	-1,9	-36,0	10,2	68,1	15,3	-24,8
Haushalte[3)]	129,0	128,4	116,0	129,9	119,9	129,8	-7,1	8,3	0,6	18,6	148,4	23,8	15,0
Verkehr (national)	158,8	171,9	178,4	174,6	172,6	184,8	8,7	7,0	16,3	13,5	198,3	14,9	24,8
Summe Endenergiesektoren	547,6	494,8	469,6	480,0	460,6	482,9	-15,9	4,8	-11,8	49,3	532,2	15,5	-2,8
Energiesektor	439,2	377,7	361,1	369,1	373,0	352,8	-15,1	-5,4	-19,7	17,7	370,5	-0,7	-15,6
Insgesamt	986,8	872,4	830,7	849,1	833,6	835,7	-15,5	0,3	-15,3	67,0	902,7	8,3	-8,5
Materialeffizienz und -substitution[4)]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,0	8,0		
Summe energiebedingte Emissionen	986,8	872,4	830,7	849,1	833,6	835,7	-15,5	0,3	-15,3	75,0	910,7	9,2	-7,7
Prozessbedingte Emissionen[5)]	27,6	26,3	26,1	24,4	24,4	24,4	-11,6	0,0	-11,6	1,0	25,4	4,3	-7,8
Summe CO_2-Emissionen	1014,4	898,8	856,8	873,5	858,0	860,1	-15,4	0,2	-15,2	76,0	936,1	9,1	-7,7
Nachrichtlich: Summe CO_2-Emissionen lt. Nationalem Inventar 2004	1015,6	901,5	860,3	874,3	864,1								

Anmerkung:
Datenbasis der Szenario-Berechnungen der CO_2-Emissionen bis 2010 waren die CO_2-Emissionen nach dem Nationalen Inventarbericht 2003 und (für die Jahre 1999 bis 2001) DIW Berlin ; Abweichungen zu den aktuellen Ergebnissen aus dem Nationalen Inventarbericht 2004 sind nur marginal und verzerren das Ergebnis nicht.
[1)] Vorläufige Angaben. [2)] Siehe dazu Übersichten für die einzelnen Sektoren.- [3)] Einschließlich des den Haushalten zugerechneten CO_2-Emissionsminderungsbeitrags der erneuerbaren Energieträgern bei Wärmeanwendungen im Jahre 2010 (7 Mio. t CO2).- [4)] Wirkungen der höheren Materialeffizienz und -substitution im Mit-Maßnahmen-Szenario im Jahr 2010 in allen Sektoren enthalten. - [5)] Angaben für 2002 geschätzt (2002 = 2001).
Quellen: UBA, Nationale Inventarberichte 2003 und 2004; AG Energiebilanzen; FZJ; Fhg-ISI; Öko-Institut; DIW Berlin.

Danach ergibt sich für die CO_2-Emissionen im Jahr 2010 ein Emissionsniveau im „Mit-Maßnahmen-Szenario“ von knapp 836 Mio. t für die direkten energiebedingten CO_2-

[111] Zu beachten ist bei den folgenden Vergleichen, dass es sich bei den historischen Angaben für 1990 bis 2002 um die nicht-temperaturbereinigten Werte handelt, während bei den zukunftsbezogenen Angaben grundsätzlich mit temperaturbereinigten Werten gerechnet wird. Für die ex-post-Beurteilung der Zielerreichung werden die jeweils tatsächlich erreichten Emissionen mit den tatsächlichen Emissionen im Basisjahr verglichen.

Emissionen; das sind 15,3 % weniger als 1990, aber es ist etwas mehr als 2002[112]. Einschließlich der CO_2-Emissionen aus Industrieprozessen ergibt sich ein Niveau von rund 860 Mio. t, das sind 15,2 % weniger als 1990. Alles in Allem wird somit gegenüber 2002 mit einem geringfügigen Anstieg (+0,2 %) bei den CO_2-Emissionen gerechnet.

Als eine weitere Implikation dieser Erwartung sei nachrichtlich nur erwähnt, dass das nationale Ziel einer Reduktion der CO_2-Emissionen bis 2005 um ein Viertel gegenüber 1990 bei weitem verfehlt werden wird.

Gleichwohl ist aber auch festzustellen, dass die klimaschutzpolitischen Maßnahmen schon erhebliche Wirkungen gezeigt haben. Insgesamt wird deren Beitrag zur Minderung der CO_2-Emissionen auf rund 76 Mio. t geschätzt. Das heißt: Ohne die Klimaschutzpolitik der Bundesregierung, also im „Ohne-Maßnahmen-Szenario“, würden die CO_2-Emissionen im Jahre 2010 in Deutschland nicht 860 Mio. t, sondern rund 936 Mio. t betragen. Das wären gegenüber 1990 nur 7,7 % weniger; gegenüber 2002 würde es sogar eine Steigerung um rund 9 % bedeuten.

Unter Berücksichtigung der Nicht-CO_2-Emissionen, also der Treibhausgase CH_4, N_2O, HFC, PFC und SF_6, die sich im Jahr 2010 auf rund 141 Mio. t CO_2-Äquivalente summieren, belaufen sich die gesamten Treibhausgasemissionen im Jahr 2010 im „Mit-Maßnahmen-Szenario“ auf 1 000 Mio. t CO_2-Äquivalente (Tabelle 3.11-2). Bezogen auf das Basisjahr[113], in dem die Emissionen dieser sechs Treibhausgase zusammen etwa 1 250 Mio. t CO_2-Äquivalente betragen hatten, ergibt sich eine Reduktion um rund 250 Mio. t CO_2-Äquivalente oder ein Minus von 20 %. An der Zielerreichung von -21 % würden demnach im Jahre 2010 nur noch knapp 13 Mio. t CO_2-Äquivalente oder ein Prozentpunkt fehlen.

Klimaschutzpolitische Maßnahmen von Staat, Wirtschaft und privaten Haushalten haben nach den hier vorgelegten Rechnungen zur Emissionsminderung mit knapp 109 Mio. t CO_2-Äquivalente beigetragen. Im „Ohne-Maßnahmen-Szenario“ würden die Treibhausgasemissionen im Jahre 2010 rund 1 110 Mio. t CO_2-Äquivalente ausmachen – reichlich 11 % weniger als im Basisjahr.

---

[112] Zu den Emissionsangaben für 2002 vgl. Hans-Joachim Ziesing, Treibhausgas-Emissionen nehmen weltweit zu – Keine Umkehr in Sicht. In: Wochenberichte des DIW Berlin, Nr. 39/2003.

[113] Basisjahr für CO_2, CH_4 und N_2O ist 1990, für HFC, PFC und SF_6 ist 1995 das Basisjahr.

Tabelle 3.11-2 Zusammenfassung: Treibhausgasemissionen im Mit-Maßnahmen-Szenario sowie im Ohne-Maßnahmen-Szenario im Jahre 2010

Treibhausgase	Ist-Werte					Mit-Maßnahmen-Szenario (=Referenzszenario)				Wirkung der Einzel-maß-nahmen	Ohne-Maßnahmen-Szenario		
	1990	1995	2000[1)]	2001[1)]	2002[1)]	2010	90/02[1)]	02[1)]/10	90/10		2010	02[1)]/10	90/10
	Mio. t CO_2-Äquivalente						Veränderungen in %			Mio. t CO_2-Äquivalente		Veränderungen in %	
CO_2 Emissionen[2) 3)]	1014,4	898,8	856,8	873,5	858,0	860,1	-15,4	0,2	-15,2	76,0	936,1	9,1	-7,7
CH_4	139,8	109,2	86,5	83,0	81,4	70,4	-41,7	-13,6	-49,6				
N_2O	81,4	73,5	55,8	56,1	55,8	54,6	-31,4	-2,2	-32,9				
HFC	3,5	6,4	6,6	8,1	8,2	11,8	135,0	43,1	236,2				
PFC	2,7	1,8	0,8	0,7	0,8	0,6	-70,8	-23,7	-77,7				
SF_6	3,9	6,9	4,0	3,3	4,2	3,5	7,7	-16,6	-10,2				
Summe Nicht-CO_2	231,2	197,7	153,8	151,3	150,5	140,8	-34,9	-6,5	-39,1	32,8	173,6	15,3	-24,9
Treibhausgasemissionen (THG) im Basisjahr 1990 bzw. 1995[4)]	1250,6	1096,4	1010,6	1024,8	1008,5	1000,9	-19,4	-0,8	-20,0	108,8	1109,7	10,0	-11,3
THG-Emissionsziel 2010						988,0			-21,0		988,0		-21,0
Differenz: Ziel 2010 ./. Mit- bzw. Ohne-Maß-nahmen-Szenario 2010						-12,9			-1,0		-121,8		-9,7

[1)] Vorläufige Angaben.- [2)] Angaben ohne LUCF.- [3)] Basis der Szenario-Berechnungen der CO_2-Emissionen bis 2010 waren die CO_2-Emissionen nach dem Nationalen Inventarbericht 2003 und nach DIW Berlin für die Jahre bis 2001; Abweichungen zu den aktuellen Ergebnissen aus dem Nationalen Inventarbericht 2004 sind nur marginal und verzerren das Ergebnis nicht.- [4)] Basisjahr für CO_2, CH_4 und N_2O ist 1990, für HFC, PFC und SF_6 ist es 1995; Nicht-CO2-Emissionen nach dem Nationalen Inventarbericht 2004..

Quellen:Nationale Inventarberichte für 2003 und 2004; AG Energiebilanzen; UBA; FZJ; Fhg-ISI; Öko-Institut; DIW Berlin.

3.12 Exkurs: Schätzung des modifizierten Referenzszenarios der Enquete-Kommission für die Jahre 2010 und 2020 (DIW Berlin)

3.12.1 Vorbemerkungen

In den vorstehenden Abschnitten wurden die bisherigen Maßnahmen zur Emissionsminderung getrennt nach einzelnen Emittentengruppen und Maßnahmenkategorien beschrieben und deren emissionsmindernden Wirkungen bis zum Jahr 2010 (die Periode 2008/2012 repräsentierend) quantitativ analysiert. Als Ergebnis dieses Untersuchungsteils wurde dargestellt, welchen Gesamtbeitrag die umgesetzten und beschlossenen Maßnahmen zur Minderung der Treibhausgasemissionen künftig leisten dürften. Ausgehend vom Referenzszenario der Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“ und unter Berücksichtigung aktueller Einschätzungen und politischer Beschlüsse sowie der geschätzten Wirkungen der bisherigen Maßnahmen wurde ein modifiziertes Referenzszenario für das Jahr 2010 abgeleitet, das den Charakter eines „Mit-Maßnahmen-Szenarios“ trägt.

Im Mittelpunkt der Analyse stand die quantitative Darstellung der Treibhausgasemissionen im Jahr 2010, während die jeweils dahinter stehenden Energieverbrauchsmengen nach Höhe und Struktur nicht explizit ausgewiesen wurden. Allerdings wurde seitens des Umweltbundesamtes der Wunsch geäußert, nicht nur das für 2010 entwickelte Referenzszenario der Treibhausgasemissionen noch um die damit kompatiblen Energieverbrauchsmengen zu ergänzen, sondern zugleich auch noch den Versuch zu unternehmen, dieses insoweit „vervollständigte“ Szenario bis zum Jahre 2020 fortzuschreiben.

Dazu wurde wiederum auf das Referenzszenario der Enquete-Kommission für die Jahre 2010 und 2020 zurückgegriffen. Eine unmittelbare Übernahme der in diesem Referenzszenario ausgewiesenen Energieverbrauchsmengen war indes in den meisten Fällen wegen der im Rahmen des Vorhabens „Politikszenarien III“ vorgenommenen zahlreichen Modifikationen der für 2010 zugrunde zu legenden Emissionen nicht möglich, so dass auch der jeweilige Energieverbrauch entsprechend modifiziert werden musste. Dies geschah im wesentlichen durch eine zu den Emissionen proportionale Veränderung des Energieverbrauchs. Bei der Fortschreibung des so gewonnenen Bildes für 2010 bis zum Jahre 2020 wurden diese Modifikationen entsprechend fortgeschrieben.

Im Ergebnis konnten für jeden der Endenergiesektoren, für den Bereich der Stromerzeugung und für den Primärenergieverbrauch Tabellen für die Jahre 2010 und 2020 mit Angaben zum Energieverbrauch nach Höhe und Energieträgerstruktur wie zu den CO_2-Emissionen entwickelt werden. Diese Ergebnisse sind in Tabelle 3.12-1 bis Tabelle 3.12-9 zusammengestellt.

Auf eine Kommentierung sei hier verzichtet. Auf den teilweise hohen Schätzcharakter der Szenarien und die damit verbundenen Unsicherheiten sei hier nur hingewiesen.

3.12.2 Ergebnisse: Tabellen zum Energieverbrauch und zu den CO_2-Emissionen im (modifizierten) Referenzszenario nach Sektoren für die Jahre 2010 und 2020

Tabelle 3.12-1 Energieverbrauch und CO_2-Emissionen im modifizierten Referenzszenario der Enquete-Kommissionbis 2020: Haushalte

	Ist-Werte			Modifiziertes Referenz-Szenario			
	1990	1995	2000	2010	2020	2010	2020
	Energieverbrauch (PJ)					CO_2-Emissionen	
Kohlen	363	104	36	8	2	0,8	0,2
Heizöl	739	899	747	821	745	60,8	55,1
Übrige Mineralöle	1	2	2	2	2	0,2	0,2
Erdgas	566	880	938	1198	1263	67,1	70,7
Sonstige Gase	67	45	32	14	11	0,9	0,7
Strom	422	458	472	489	455		
Fern-/Nahwärme	160	171	158	141	144		
Biomasse	65	87	152	157	157		
Solar, Umgebung	0	9	13	27	30		
Wasserstoff	0	0	0	0	0		
Summe	**2383**	**2655**	**2550**	**2858**	**2809**	**129,8**	**127,0**

Tabelle 3.12-2 Energieverbrauch und CO_2-Emissionen im modifizierten Referenzszenario der Enquete-Kommission bis 2020: Gewerbe, Handel, Dienstleistungen

	Ist-Werte			Modifiziertes Referenz-Szenario			
	1990	1995	2000	2010	2020	2010	2020
	Energieverbrauch (PJ)					CO_2-Emissionen	
Steinkohle	32	18	9	4	1	0,4	0,1
Braunkohle	252	28	0	0	0	0,0	0,0
Heizöl	408	411	315	252	236	18,7	17,5
Übrige Mineralöle	194	173	125	134	126	10,5	9,9
Erdgas	262	398	454	491	476	27,5	26,7
Sonstige Gase	39	9	9	14	16	0,9	1,0
Strom	388	447	443	494	525		
Fern-/Nahwärme	122	125	114	123	119		
Biomasse	5	5	3	3	2		
Solar, Umgebung	0	0	0	2	9		
Summe	**1702**	**1614**	**1472**	**1518**	**1511**	**57,9**	**55,1**

Tabelle 3.12-3 Energieverbrauch und CO_2-Emissionen im modifizierten Referenzszenario der Enquete-Kommission bis 2020: Summe Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen

	Ist-Werte			Modifiziertes Referenz-Szenario			
	1990	1995	2000	2010	2020	2010	2020
	Energieverbrauch (PJ)					CO_2-Emissionen	
Kohlen	647	150	45	12	3	1,2	0,3
Heizöl	1147	1310	1062	1074	981	79,4	72,6
Übrige Mineralöle	195	175	127	136	128	10,6	10,0
Erdgas	828	1278	1392	1689	1739	94,6	97,4
Sonstige Gase	106	54	41	29	27	1,9	1,7
Strom	810	905	915	984	980		
Fern-/Nahwärme	282	296	272	263	263		
Biomasse	70	92	155	160	159		
Solar, Umgebung	0	9	13	29	39		
Wasserstoff	0	0	0	0	0		
Summe	**4085**	**4269**	**4022**	**4376**	**4320**	**187,7**	**182,0**

Tabelle 3.12-4 Energieverbrauch und CO_2-Emissionen im modifizierten Referenzszenario der Enquete-Kommission bis 2020: Industrie

	Ist-Werte			Modifiziertes Referenz-Szenario			
	1990	1995	2000	2010	2020	2010	2020
	Energieverbrauch (PJ)					CO_2-Emissionen	
Steinkohle	213	173	149	179	176	16,6	16,3
Braunkohle	341	79	59	51	50	4,9	4,8
Koks	314	227	234	170	155	17,8	16,3
Mineralöle	308	299	214	207	184	15,5	13,8
Erdgas	713	747	780	820	852	45,9	47,7
Sonstige Gase	223	182	164	120	84	9,6	6,7
Strom	748	686	756	792	839		
Fern-/Nahwärme	101	70	62	79	87		
Biomasse	16	11	12	53	45		
Solar, Umgebung	0	0	0	0	0		
Wasserstoff	0	0	0	0	0		
Summe	**2977**	**2474**	**2430**	**2471**	**2471**	**110,5**	**105,7**

Tabelle 3.12-5 Energieverbrauch und CO_2-Emissionen im modifizierten Referenzszenario der Enquete-Kommission bis 2020: Verkehr

	Ist-Werte			Modifiziertes Referenz-Szenario			
	1990	1995	2000	2010	2020	2010	2020
	Energieverbrauch (PJ)					CO_2-Emissionen	
Benzin	1331	1300	1238	1122	906	80,8	65,2
Diesel	802	1019	1145	1241	1325	91,8	98,0
Kerosin	197	235	297	332	359	11,1	12,0
Gas	0	2	1	16	36	1,0	2,4
Strom	49	58	58	67	78	0,0	0,0
Biokraftstoff	0	0	6	60	70	0,0	0,0
Methanol	0	0	0	0	2	0,0	0,0
Wasserstoff	0	0	0	0	3	0,0	0,0
Summe	**2379**	**2614**	**2745**	**2838**	**2779**	**184,8**	**177,6**

Tabelle 3.12-6 Energieverbrauch und CO_2-Emissionen im modifizierten Referenzszenario der Enquete-Kommission bis 2020: Summe Endenergiesektoren

	Ist-Werte			Modifiziertes Referenz-Szenario			
	1990	1995	2000	2010	2020	2010	2020
	Energieverbrauch (PJ)					CO_2-Emissionen	
Steinkohlen	922	522	428	361	334	35,7	32,9
Braunkohlen	593	107	59	51	50	4,9	4,8
Mineralölprodukte	3980	4338	4083	4112	3883	289,4	271,7
Gase	1870	2263	2378	2674	2738	153,0	155,9
Strom	1607	1649	1729	1843	1896		
Fernwärme	383	366	334	343	350		
Bioenergien	86	103	173	273	274		
Solar/Umgebung	0	9	13	29	39		
Methanol	0	0	0	0	2		
Wasserstoff	0	0	0	0	3		
Summe	**9441**	**9357**	**9197**	**9685**	**9570**	**482,9**	**465,3**

Tabelle 3.12-7 Energieverbrauch und CO_2-Emissionen im modifizierten Referenzszenario der Enquete-Kommission bis 2020: Stromerzeugung

	Ist-Werte			Modifiziertes Referenz-Szenario			
	1990	1995	2000	2010	2020	2010	2020
	Energieverbrauch (PJ)					CO_2-Emissionen	
Steinkohle	1270	1332	1269	1186	1542	109,1	141,8
Braunkohle	1795	1455	1424	1404	1500	156,4	167,1
Heizöl	109	72	38	42	12	3,2	1,0
Erdgas	332	341	357	447	444	25,0	24,8
Kernenergie	1663	1681	1849	1613	693		
Wasserkraft	71	100	92	84	93		
Wind	0	5	34	137	220		
Photovoltaik	0	0	0	3	11		
Andere Brennstoffe	168	162	200	210	179	11,1	10,0
Summe	**5408**	**5148**	**5263**	**5125**	**4692**	**304,8**	**344,7**

Tabelle 3.12-8 Primärenergieverbrauch im modifizierten Referenzszenario der Enquete-Kommission bis 2020

	Ist-Werte			Modifiziertes Referenz-Szenario	
	1990	1995	2000	2010	2020
	Primärenergieverbrauch (Wirkungsgrad) in PJ				
Steinkohle	2306	2060	1920	1739	1979
Braunkohle	3201	1734	1547	1558	1597
Kernenergie	1668	1682	1849	1613	693
Mineralöle	5238	5689	5478	5451	5144
Naturgase	2316	2826	3025	3276	3454
Importsaldo Strom	3	17	9	0	8
Wasserkraft	58	77	73	84	93
Windenergie	0	6	33	137	220
Biomasse, Muell	126	169	233	533	541
Solar, Umgebung	0	9	13	36	65
Summe	**14916**	**14269**	**14180**	**14427**	**13793**

Tabelle 3.12-9 CO_2-Emissionen im modifizierten Referenzszenario der Enquete-Kommission bis 2020

	Ist-Werte nach Enquete-Kommission			Modifiziertes Referenz-Szenario	
	1990	1995	1998	2010	2020
	CO_2-Emissionen in Mio. t				
Summe Haushalte sowie Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)	218,7	197,5	198,6	187,7	182,0
Haushalte	126,8	129,2	131,7	129,8	127,0
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	92,1	71,4	66,7	57,9	55,1
Industrie	169,7	127,1	118,4	110,5	105,7
Verkehr	158,0	172,6	176,7	184,8	177,6
Energiesektor	440,5	379,4	367,5	352,8	385,9
Elektrizitätswirtschaft	353,2	318,3	313,0	304,8	344,7
übriger Energiesektor	87,3	61,0	54,5	48,0	41,2
Insgesamt	**986,8**	**876,5**	**861,1**	**835,7**	**851,2**

4 Modellgestützte Szenarien für den Klimaschutz (FZJ-STE)

4.1 Charakterisierung des Optimierungsmodells

Für die Generierung von Szenarien, die Ermittlung von Handlungsfeldern für Klimaschutzmaßnahmen und die Abschätzung von Klimaschutzkosten wird im Folgenden analog zur Vorgehensweise im Vorhaben „Politikszenarien II“ das IKARUS-Mehrperiodenmodell eingesetzt (Stein/Strobel, 2000). Bei dem IKARUS-Mehrperiodenmodell, das alle Bereiche des gesamten energiewirtschaftlichen Systems abbildet, handelt es sich um ein dynamisches, lineares Optimierungsmodell mit „perfect foresight“ (also ohne Informationsdefizite und Hemmnisse). Das Modell setzt dabei auf die Struktur und die Daten des quasi-statischen IKARUS-Modells auf.

Die Zielfunktion des IKARUS-Mehrperiodenmodells enthält die gesamten, abdiskontierten Systemkosten des Betrachtungszeitraums, wobei die Restwerte der letzten Periode gutgeschrieben werden. Als Ergebnis erhält man ein Energiesystem, in dem die Nachfrage nach Energiedienstleistungen unter den gesetzten Rahmenbedingungen zu volkswirtschaftlich minimalen Kosten befriedigt wird, und zwar ohne Rücksicht auf Handlungsweisen und Hemmnisse, sofern sie nicht durch bestimmte Grenzwerte vorgegeben werden. Um „gehemmte Potenziale“ berücksichtigen bzw. den Optimierungsspielraum des Modells einengen zu können, ist die Vorgabe von Begrenzungen („Bounds“) erforderlich. Durch die Vorgabe von Bounds können u.a. energiepolitische Maßnahmen, Ressourcenbeschränkungen und Technikdiffusionen realitätsnäher abgebildet werden. Zudem ermöglicht das Setzen von Begrenzungen die Justierung des Modells auf ein in der Vergangenheit liegendes Basisjahr (vgl. Anhang).

Zu beachten ist, dass es sich beim IKARUS-Mehrperiodenmodell nicht um ein Prognoseinstrument handelt. Es wurde vielmehr entwickelt, um mit Hilfe der Szenariotechnik die Auswirkungen von sozio-ökonomischen und technischen Entwicklungen auf das Energiesystem sowie volkswirtschaftlich optimale Handlungsstrategien für den Klimaschutz aufzeigen zu können.

4.2 Rahmendaten für die Modellszenarien

Die im Folgenden beschriebenen demographischen, ökonomischen und technologischen Rahmenbedingungen beruhen im Wesentlichen auf Annahmen, die im IKARUS-Projekt ver-

einbart wurden. Hierbei handelt es sich um einen konsistenten und abgestimmten Datensatz. Bei der Erarbeitung wurde insbesondere darauf geachtet, dass - in Abstimmung mit dem Auftraggeber - die Rahmendaten mit denjenigen weitestgehend kompatibel sind, die von der Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung“ verwendet worden sind.

4.2.1 Demographische und gesamtwirtschaftliche Entwicklung

Die demographische Entwicklung wird entsprechend der 2. Variante der Bevölkerungsentwicklung des Statistischen Bundesamtes (2000) angenommen. Demnach sinkt die Bevölkerung in den nächsten 30 Jahren um fast 4 Mio. auf ca. 78 Mio. Die Rate, mit der die Bevölkerung abnimmt, steigt dabei kontinuierlich: Für den Zeitraum bis 2010 wird pro Jahr ein Rückgang von 0,06 % unterstellt, für die darauf folgenden 10 Jahre eine Rate von 0,14 % (2010 bis 2020) und für die Jahre von 2020 bis 2030 eine solche von 0,30 %. (Tabelle 4.2-1)

Aufgrund der geringeren Kinderzahlen je Familie, einer höheren Lebenserwartung sowie dem Trend zu Singlehaushalten nimmt in dieser Bevölkerungsprognose die Zahl der privaten Haushalte in den nächsten zehn Jahren jährlich etwa um 0,26 % zu. Erst im letzten Jahrzehnt bis zum Jahr 2030 ist die Anzahl der Haushalte rückläufig, geprägt durch die abnehmende Bevölkerungszahl. Die Zahl der Wohnungen steigt deutlich stärker als die Zahl der Haushalte. Ursache ist die zunehmende Anzahl der Zweitwohnungen für berufstätige Pendler sowie der Rentnerhaushalte. Hierdurch wächst die Zahl der Wohnungen von heute etwa 36,8 Mio. auf gut 43 Mio. im Jahr 2030.

Tabelle 4.2-1 Demographische und gesamtwirtschaftliche Rahmendaten

	Einheit	Jeweilige Werte				Veränderungen in %/a		
		2000	2010	2020	2030	2000/10	2010/20	2020/30
Bevölkerung	Mio.	81,99	81,50	80,34	77,98	-0,06	-0,14	-0,30
Zahl der Haushalte	Mio.	37,5	38,5	38,80	38,10	0,26	0,08	-0,18
Personen je Haushalt	Anzahl	2,19	2,12	2,07	2,05	-0,32	-0,22	-0,12
Wohnungen	Mio.	36,82	39,64	41,60	43,08	0,74	0,48	0,35
Wohnungen je 1000 Haushalte	Anzahl	982	1030	1072	1131	0,48	0,41	0,53
Wohnungsfläche	Mio. m^2	3116,5	3408,6	3637,1	3838,6	0,90	0,65	0,54
Wohnungsfläche je Einw.	m^2	38,0	41,8	45,3	49,2	0,96	0,80	0,84
Wohnungsgröße EFH	m^2	105,95	108,31	110,62	113,43	0,22	0,21	0,25
Wohnungsgröße MFH	m^2	65,94	66,45	66,88	67,35	0,08	0,06	0,07
Erwerbspersonen	Mio.	37,54	37,34	37	34,92	-0,05	-0,09	-0,58
Bruttoinlandsprodukt (BIP)	Mrd. € (95)	1963,8	2366,7	2797,5	3189,6	1,88	1,69	1,32
BIP je Einwohner	€	23951	29039	34821	40903	1,94	1,83	1,62

Es wird angenommen, dass sich die Wohnungsgröße in neuen Einfamilienhäusern von heute knapp 106 m^2 auf 113 m^2 im Jahr 2030 erhöht. Die Wohnungsgröße in neuen Mehrfamilienhäusern verändert sich nur unwesentlich von heute knapp 66 m^2 auf knapp 68 m^2 im Jahr 2030. Insgesamt nimmt die Wohnfläche bis zum Jahr 2030 um etwa 23 % zu. Die Wohnfläche pro Einwohner steigt somit von heute etwa 38 m^2 auf gut 49 m^2 im Jahr 2030. Ein Vergleich mit den Werten der Enquete-Kommission ist nur bedingt möglich. Ursachen hierfür sind unterschiedliche sektorale Abgrenzungen (Nichtwohngebäude) sowie Definitionsprobleme. Bereinigt man die Wohnflächenangaben der Enquete-Kommission um die Zahl der Leerwohnungen sowie der Wohnungen in Nichtwohngebäuden, errechnet sich für das Jahr 2030 eine spezifische Wohnfläche pro Einwohner von 51,6 m^2, was einer Abweichung zum hier verwendeten Wert von lediglich etwa 5% entspricht.

Die Annahmen zur Wirtschaftsentwicklung wurden vom Bremer Energieinstitut (BEI) auf der Grundlage des MIS-Modells entwickelt. Die Wachstumsraten des Bruttoinlandsprodukts wurden in Analogie zu den Szenarien der Enquete-Kommission zugrundegelegt. Danach wächst das reale Bruttoinlandsprodukt von 1 964 Mrd. € im Jahr 2000 auf knapp 2 367 Mrd. € bis zum Jahr 2010, was einer durchschnittlichen jährlichen Steigerung von fast 1,9 % entspricht. In der Periode von 2010 bis 2020 schwächt sich das jährliche Wachstum mit 1,7 % leicht ab; im Jahr 2020 beträgt dann das reale Bruttoinlandsprodukt annähernd 2 800 Mrd. €. Bis zum Jahr 2030 wird eine weitere Abschwächung des gesamtwirtschaftlichen Wachstums auf jahresdurchschnittlich 1,3 % unterstellt; für 2030 errechnet sich daraus ein Bruttoinlandsprodukt von fast 3 200 Mrd. €.

Tabelle 4.2-2 enthält die dazu kompatible Entwicklung der Bruttowertschöpfung im verarbeitenden Gewerbe. Demnach wächst die reale Bruttowertschöpfung aller Branchen, allerdings unterschiedlich stark. So steigt die reale Bruttowertschöpfung der energieintensiven Chemie durchschnittlich um 1,6 % pro Jahr, während die Zuwachsraten anderer energieintensiver Branchen (Eisenschaffende Industrie, Zellstoff und Papier) - insbesondere in der ersten Dekade - deutlich niedriger liegen.

Aus Tabelle 4.2-3 ist die mengenmäßige Entwicklung einiger wichtiger energieintensiver Produkte ersichtlich. Danach ist eine rückläufige Entwicklung vieler energieintensiver Produkte zu erwarten. Die Herstellung von Hüttenaluminium wird bis zum Jahr 2030 in Deutschland eingestellt.

Tabelle 4.2-2 Annahmen zur Entwicklung der Bruttowertschöpfung im Verarbeitenden Gewerbe

Wirtschaftszweig	Bruttowertschöpfung in Mrd. € zu Preisen von 2000				Veränderungen in %/a		
	2000	2010	2020	2030	2000/10	2010/20	2020/30
Steine und Erden	13,78	14,46	16,20	18,20	0,48	1,14	1,17
Eisenschaffende Industrie	38,35	41,84	46,57	51,80	0,87	1,08	1,07
NE-Metalle	2,30	2,71	3,10	3,52	1,65	1,35	1,28
Gießereien	2,65	3,15	3,60	4,12	1,74	1,34	1,36
Zellstoff und Papier	9,27	9,71	11,15	12,81	0,46	1,39	1,40
Chemie	37,38	43,81	51,12	59,65	1,60	1,56	1,56
Fahrzeugbau, Elektrotechnik	179,78	222,44	261,40	307,16	2,15	1,63	1,63
Nahrungsmittel	35,00	39,41	44,24	49,67	1,19	1,16	1,16
Sonstige Industrien	44,14	63,12	70,30	78,28	3,64	1,08	1,08
Industrie gesamt	*362,65*	*440,65*	*507,68*	*585,21*	*1,97*	*1,43*	*1,43*

Wie bereits angemerkt, wurden in Analogie zu den Szenarien der Enquete-Kommission gleiche Wachstumsraten des Bruttoinlandsprodukts zugrundegelegt. Ein detaillierter Vergleich ist jedoch nicht möglich, da keine Angaben einer feineren Auflösung der in den Enquete-Szenarien unterstellten Wirtschaftsentwicklung vorliegen.

Tabelle 4.2-3 Mengenmäßige Entwicklung ausgewählter Industrieprodukte

Produkt	Produkte (Mio. t)				Veränderungen in %/a		
	2000	2010	2020	2030	2000/10	2010/20	2020/30
Zement	36,05	35,05	34,55	33,53	-0,28	-0,14	-0,30
Kalk	7,26	6,90	6,50	6,00	-0,51	-0,60	-0,80
Ziegel	17,00	16,90	16,00	15,60	-0,06	-0,55	-0,25
Glas	6,61	6,78	6,90	6,95	0,26	0,18	0,07
Zucker	4,30	4,50	4,58	4,45	0,45	0,18	-0,30
Walzstahl	38,97	36,10	35,90	34,80	-0,76	-0,06	-0,31
Rohstahl	30,85	26,23	23,25	20,46	-1,61	-1,20	-1,27
Elektrostahl	13,32	14,69	17,03	18,60	0,98	1,49	0,88
Hüttenaluminium	0,64	0,65	0,20	0,00	0,09	-11,12	-100,00

Die Zahl der Erwerbstätigen im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) insgesamt erhöht sich bis 2020 noch leicht, geht dann aber bis 2030 spürbar zurück, so dass es im Endjahr in diesem Bereich gegenüber 2000 etwa eine Million weniger Erwerbstätige gibt (Tabelle 4.2-4). Dabei gewinnen die privaten und öffentlichen Dienstleistungen an Bedeutung, während insbesondere die Zahl der Erwerbstätigen in der Land- und Forstwirtschaft sowie im Baugewerbe weiter abnimmt.

Tabelle 4.2-4 Entwicklung der Erwerbstätigenzahl im GHD-Sektor in Deutschland

Wirtschaftssektoren	Erwerbstätige in Mio.				Veränderungen in %/a		
	2000	2010	2020	2030	2000/10	2010/20	2020/30
Öffentliche Dienstleistungen	10,60	10,61	10,55	10,19	0,01	-0,06	-0,34
Private Dienstleistungen	12,14	13,03	13,59	13,35	0,71	0,43	-0,18
Militär, Verkehr, Nachrichten, sonstige	2,00	1,90	1,78	1,59	-0,51	-0,65	-1,12
Handwerk, Kleinindustrie	2,95	2,81	2,77	2,69	-0,48	-0,13	-0,30
Baugewerbe	2,76	2,50	2,45	2,10	-0,99	-0,20	-1,53
Land- und Forstwirtschaft	0,96	0,78	0,65	0,54	-2,13	-1,82	-1,81
Summe	*31,41*	*31,62*	*31,79*	*30,47*	0,07	0,05	-0,42

4.2.2 Annahmen zur Entwicklung im Verkehr

Als wichtige bedarfsbestimmende Größe im Verkehrssektor werden im IKARUS-Modell die Verkehrsleistungen exogen vorgegeben. Dabei wird zwischen Personenverkehr (Personenkilometer Pkm) und Güterverkehr (Tonnenkilometer tkm) unterschieden. Tabelle 4.2-5 enthält die Verkehrsleistungen, die von der Enquete-Kommission angenommen wurden. Um eine möglichst gute Annäherung an das Enquete-Referenzszenario zu erreichen, wurden für die im Rahmen dieser Studie gerechneten Szenarien die Enquete-Werte übernommen.

Die Personenverkehrsnachfrage steigt trotz abnehmender Bevölkerungszahl von 968 Mrd. Pkm auf 1 139 Mrd. Pkm im Jahr 2030 und somit um fast 20%. Weitaus drastischer fällt der Anstieg im Güterverkehrsbereich aus. Hier nimmt die Verkehrsleistung von 483 Mrd. tkm auf etwa 839 Mrd. tkm zu, was einem Anstieg von fast 75 % entspricht. Die jährlichen Zuwachsraten liegen in den Perioden 2000/2010 und 2010/2020 bei 2,4 % bzw. 1,9 %. Erst in der Periode 2020/2030 fällt die jährliche Wachstumsrate mit etwa 1,4 % etwas geringer aus.

Tabelle 4.2-5 Entwicklungen der Verkehrsleistungen im Personen- und Güterverkehr

Bereich	Einheit	Jeweilige Werte				Veränderungen in %/a		
		2000	2010	2020	2030	2000/10	2010/20	2020/30
Personenverkehr	Mrd. Pkm	968,1	1090,7	1138,2	1139,1	1,20	0,43	0,01
Güterverkehr	Mrd. tkm	483,1	607,4	732,4	839,2	2,47	1,89	1,37

4.2.3 Energieträgerpreise

In aktuellen Prognosen und Szenarien wird überwiegend angenommen, dass die realen Rohölpreise bis zum Jahr 2010 unter 20 US-Dollar je Barrel liegen werden. Für das Jahr 2020 bewegt sich die Spanne der Preisschätzungen zwischen 15 und 28 Dollar je Barrel. Nach einer

aktuellen Analyse von Horn (2002) deutet vieles darauf hin, dass das Rohölpreisniveau langfristig deutlich unter 30 US-Dollar pro Barrel bleibt. Ausgegangen wird für das Jahr 2020 von einem Rohölpreis von 25 US-Dollar je Barrel und für 2030 von etwa 27 US-Dollar je Barrel (vgl. Tabelle 4.2-6). Grundlegende Veränderungen der Energiepolitik - dazu zählt auch eine weltweite Reduktion der CO_2-Emissionen - werden dabei nicht unterstellt. Welche weiteren Annahmen getroffen wurden und wie bei der Ermittlung der Grenzübergangspreise methodisch vorgegangen wurde, findet sich in Horn (2002).

Tabelle 4.2-6 Annahmen zur Entwicklung der Rohölpreise

		2000	2010	2020	2030	Veränderungen in %/a		
						2000/10	2010/20	2020/30
Spotpreis Brent, nominal	$/Barrel	28.40	28.69	35.72	46.11	0.10	2.22	2.59
Spotpreis Brent, real 2000	$/Barrel	28.40	24.00	25.00	27.00	-1.67	0.41	0.77
Wechselkurs	€/US$	1.08	1.00	0.96	0.90	-0.77	-0.41	-0.64
Spotpreis Brent, nominal	€/t	232.35	217.62	258.18	312.36	-0.65	1.72	1.92
Spotpreis Brent, nominal	€/GJ	5.44	5.10	6.05	7.32			
Grenzübergangswert, real 2000	€/GJ	5.32	4.39	4.49	4.68	-1.90	0.23	0.42

Die Importenergiepreise anderer wichtiger Energieträger sind in Tabelle 4.2-7 dargestellt.

Tabelle 4.2-7 Annahmen zu den Preisen der wichtigsten Importenergieträger

Energieträger	Importpreise in €/GJ in Preisen von 2000				Veränderungen in %/a		
	2000	2010	2020	2030	2000/10	2010/20	2020/30
Steinkohle	1,32	1,76	1,80	1,87	2,90	0,22	0,42
Rohöl	5,32	4,39	4,49	4,68	-1,89	0,22	0,42
Benzin	7,06	6,28	6,51	6,79	-1,15	0,36	0,42
Diesel	6,95	5,45	5,61	5,85	-2,41	0,30	0,42
Heizöl leicht	6,95	5,45	5,61	5,85	-2,41	0,30	0,42
Heizöl schwer	5,06	3,51	3,60	3,75	-3,58	0,23	0,42
Erdgas A	3,27	3,65	3,82	3,98	1,09	0,46	0,42
Erdgas B	4,11	4,56	4,77	4,97	1,04	0,46	0,42
z. Vgl. Braunkohle	1,44	1,51	1,64	1,68	0,48	0,83	0,25

4.2.4 Begrenzungen

Eine Auswahl der wichtigsten Begrenzungen, die den Berechnungen zugrunde gelegt wurden, enthält Tabelle 4.2-8. Die hier angenommenen Begrenzungen sind im Sinne von Szenarioannahmen, nicht aber als energiepolitische Empfehlungen zu verstehen.

Tabelle 4.2-8 Wichtige energiepolitische und technische Begrenzungen in den Szenarien

	Einheit	2000	2010	2020	2030
Steinkohle-Gewinnung	PJ	1 005	> 300	(-)	(-)
Steinkohle-Importe	PJ	910	(-)	(-)	(-)
Braunkohle-Förderung -Basis-Szenario -Reduktionsszenarien	PJ	1 521	 >1 400 >1 100	 >1 400 > 500	 > 800 > 400
Erdgas-Förderung	PJ	633	< 300	< 250	< 200
Erdgas-Importe A	PJ	2 683	< 4 000	< 4 000	< 4 000
Erdgas-Importe B	PJ		< 4 000	< 4 000	< 4 000
Windkraft	GW	5,9	> 19	> 25	> 35
Kernenergie	GW_{netto}	22,2	18,3	7,8	0

(-) bedeutet, dass keine Begrenzungen vorgegeben worden sind.

In Abstimmung mit dem Auftraggeber und unter Berücksichtigung der Kohlebeschlüsse der Bundesregierung wurde für das Jahr 2010 eine Mindestfördermenge heimischer Steinkohle von 300 PJ (ca. 10 Mio. t SKE) angenommen. Für den Zeitraum danach wird davon ausgegangen, dass die Subventionen auslaufen und die deutsche Steinkohle mit der Importsteinkohle konkurrieren muss. Ausgehend von den jeweiligen Fördergebieten und unter Berücksichtigung der bekannten unternehmensspezifischen Planungen sowie Aktivitäten, wurde eine Mindestfördermenge für die deutsche Braunkohle abgeschätzt. Hierbei wurde auch die Altersstruktur des braunkohlebefeuerten Kraftwerksparks sowie aktuelle Kraftwerksbauten in den Blick genommen. Die für den Basisfall getroffenen Braunkohlebegrenzungen entsprechen denen des Referenzszenarios der Enquete-Kommission. In den Reduktionsszenarien werden diese Begrenzungen verändert, um dem Optimierungsmodell einen entsprechenden Handlungsspielraum zum Erreichen der Emissionsziele zu geben. Für die Zukunft ist davon auszugehen, dass die inländische Erdgasförderung rückläufig ist. Sie wird im Jahr 2030 nur noch knapp ein Drittel der heute geförderten Menge betragen. Die Erdgasimporte werden in Form unterschiedlicher Preiskategorien vorgegeben (vgl. Tabelle 4.2-8). Wird das Potenzial der billigeren Erdgaskategorie A ausgeschöpft, besitzt das Modell die Möglichkeit das teurere Erdgas der Kategorie B zu importieren. Wie aktuelle internationale Energieprognosen (IEA 2002) zeigen, wird der Erdgasverbrauch nicht nur in Deutschland, sondern auch in anderen europäischen Staaten steigen. Es ist daher davon

auszugehen, dass die erhöhte Erdgasnachfrage auch höhere Erdgaspreise nach sich zieht, was durch die Vorgabe unterschiedlicher Preiskategorien berücksichtigt wird. Hinsichtlich der zukünftigen Rolle der Kernenergie wurden auf der Basis der zwischen Bundesregierung und den Betreibern von Kernkraftwerken geschlossenen Ausstiegsvereinbarung die für die jeweiligen Zeitstützpunkte verbleibenden Restkapazitäten abgeschätzt. Demnach wird im Jahr 2020 noch gut ein Drittel der heute am Netz befindlichen Kernkraftwerke zur Stromerzeugung beitragen. Von dem Wert der Enquete Kommission (2020: ca. 11 GW) wurde bewusst abgewichen, da dieser zumindest mit der Ausstiegsvereinbarung nicht begründet werden kann.

4.2.5 Modellgestützte Szenarien[114]

Soweit durch die bisherigen klimaschutzpolitischen Maßnahmen die genannten Klimaschutzziele nicht zu erreichen sind, werden zusätzliche, zielführende Maßnahmen untersucht und in entsprechenden Szenarien abgebildet. Methodisch wird dazu auf das IKARUS-Mehrperiodenmodell zurückgegriffen. Damit wird einerseits unter Vorgabe bestimmter Emissionsreduktionsziele und weiterer Restriktionen die modellgestützte Konsistenz der Szenarien gesichert, andererseits lassen sich mit Hilfe dieses Modells die Handlungsfelder für kostengünstige Maßnahmen sowie die volkswirtschaftlichen Gesamtkosten der Reduktionsszenarien im Vergleich mit dem Modell-Basis-Szenario identifizieren bzw. ermitteln. Die im ersten Teil des Vorhabens für die einzelnen Maßnahmen quantifizierten Emissionsreduktionen und die daraus abgeleiteten Ohne-Maßnahmen- sowie Mit-Maßnahmen-Szenarien wurden auf der Basis des Enquete-Referenzszenarios ermittelt, das in einigen Bereichen modifiziert wurde (z.B. Kernenergie). Um eine möglichst große Konsistenz zwischen dem Modell-Basislauf und dem modifizierten Enquete-Referenzszenario zu erreichen, wurden die Rahmendaten, wie zuvor beschrieben, weitestgehend angepasst.

4.2.5.1 Modell-Basis-Szenario

Das Modell-Basis-Szenario ist ein offenes, das heißt exploratives Szenario, bei dem keine Zielsetzung für die Entwicklung der CO_2-Emissionen vorgegeben wird. Hierbei wird versucht, die Auswirkungen von Triebkräften (z.B. Wirtschaftswachstum, Bevölkerungsentwicklung etc.) und gestaltenden Kräften, die auf die Energieversorgung einwirken, abzuschätzen.

[114] Zur Charakterisierung und Begrifflichkeit der verschiedenen Szenarien vgl. Ausführungen in Kapitel 1.

Es werden aber die Wirkungen der bisherigen Energie- und Klimapolitik (einschließlich des Standes nach dem Dritten Nationalbericht der Bundesregierung für das Sekretariat von FCCC) einbezogen. In diesem Sinne handelt es sich um ein „Mit-Maßnahmen-Szenario“, das den Zeithorizont bis zum Jahr 2030 in den Fokus nimmt. Die bereits heute implementierten Instrumente bzw. Maßnahmen wurden bis zum Jahr 2030 fortgeschrieben. Im Wesentlichen ist hierbei auf das Erneuerbare-Energien-Gesetz, das KWK-Gesetz sowie die Selbstverpflichtung der deutschen Industrie hinzuweisen. Bei der Interpretation des Modell-Basis-Szenarios ist daher zu sehen, dass bereits dort erhebliche Reduktionspotenziale ausgeschöpft werden. Von großem Einfluss ist hierbei die Windenergienutzung, deren installierte Kapazität von heute etwa 12 GW sich bis zum Jahr 2020 in etwa verdoppelt und im Jahr 2030 etwa 35 GW beträgt. Dahinter verbirgt sich der weitere Ausbau der On-Shore-Windkraftnutzung, die durch den Austausch veralteter kleinerer Anlagen bedingte Leistungserhöhung sowie in einem beträchtlichen Maße der Bau von Off-Shore-Windanlagen. Für die KWK-Verstromungsanteile wurden die gleichen Begrenzungen vorgegeben, wie im Referenzfall der Enquete-Kommission.

Bei dem Modell-Basis-Szenario werden die wesentlichen Triebkräfte der weiteren Entwicklung von Energiebedarf und Treibhausgasemissionen unter „status quo“-Entwicklungsbedingungen in die Analyse einbezogen.

So genannte Basis- oder Referenzszenarien sind nicht mit Prognosen zu verwechseln. In erster Linie dienen sie als Vergleichsmaßstab für die zielorientierten Reduktionsszenarien.

4.2.5.2 Charakterisierung der beiden Reduktionsszenarien

Die im Folgenden betrachteten beiden Reduktionsszenarien unterscheiden sich im Hinblick auf eine Reihe allgemeiner Rahmenannahmen nicht vom Referenzszenario. Diese *invarianten Rahmenannahmen* betreffen insbesondere

- die demographische Entwicklung sowie die energiebedarfsrelevanten Nachfragen (Verkehrsleistungen, Wohnflächen, gesamtwirtschaftliche Entwicklung sowie deren Struktur etc.) und
- die Importpreise für Rohöl sowie Erdölprodukte sowie Kohle und Naturgas (ohne Steuern)

Diese Größen werden für alle Szenarien gleichermaßen unterstellt, weil sie nur indirekt von der nationalen Energie- und Umweltpolitik abhängen, sondern vielmehr von Wanderungsent-

wicklungen, generativem Verhalten der Wohnbevölkerung oder den Entwicklungen in einer erweiterten EU und auf den Weltmärkten.

Die beiden Reduktionsszenarien orientieren sich an klimapolitischen Zielen, welche die deutsche Regierung in den kommenden 30 Jahren verfolgen könnte. Die Reduktionsszenarien sollen als „Nachhaltigkeits"-Szenarien verstanden werden. Nur mit einem Politikverständnis gegenseitiger Abhängigkeiten können sowohl die langfristigen Reduktionsziele einer weltweiten Klimapolitik (Halbierung der Treibhausgasemissionen von 1990 bis zur Mitte dieses Jahrhunderts, IPCC 2001) als auch andere globale sozial- und umweltverträgliche Wirtschaftsentwicklungsziele (z.B. Vermeidung von ressourcenknappheitsbedingten Krisen, Kriegen und Bevölkerungs-Migrationen) erreicht werden.

Die Ziele der beiden Reduktionsszenarien werden in Bezug auf die energiebedingten CO_2–Emissionen festgelegt (Tabelle 4.2-9). Was diese Festlegung für den Korb aller Kyoto-Gase (CO_2, CH_4, N_2O, H-FKW, FKW, SF_6) bedeutet, wird an anderer Stelle im Gesamtbericht analysiert.

Ziele des Reduktions-Szenarios I

Im Reduktions-Szenario I wird die Zielsetzung einer Minderung der energiebedingten CO_2-Emissionen bis zum Jahr 2020 um 30 % und bis zum Jahr 2030 um 40 % relativ zum Jahr 1990 angenommen. Dieses Szenario ist als Basis für die Beschreibung eines „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenarios" zu verstehen. Die Zielsetzung beruht auf der Annahme, dass weitere Verpflichtungen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen in kontinuierlicher Abfolge ähnlich wie das Kyoto-Protokoll von einer wachsenden Anzahl von Schwellen- und Entwicklungsländern eingegangen werden. Allerdings verläuft der weltweite Einigungs- und Reduktionsprozess langsamer, als er zur Erreichung des Ziels einer Stabilisierung der CO_2-Konzentration in der Atmosphäre bei 450 bis 500 ppm erforderlich wäre, was die Empfehlung vieler Natur- und Ökologie-Wissenschaftler ist, um eine weltweite durchschnittliche Temperaturerhöhung von 2°C nicht zu überschreiten (vgl. IPCC, 2000).

Ziele des Reduktions-Szenarios II

Dieses Szenario ist ein zielorientiertes Szenario mit einem ambitionierteren Reduktionspfad, der eine bessere weltweite Akzeptanz für eine Klimapolitik unterstellt, die sich zum Ziel gesetzt hat, die CO_2-Konzentration in der Atmosphäre Ende dieses Jahrhunderts bei etwa 450

ppm zu stabilisieren und damit die globale durchschnittliche Temperaturerhöhung um 2°C nicht zu überschreiten. Die jahresweise vorgegebenen Reduktionsziele sind hierbei quasi als Übergangsphase hin zu einer nachhaltigeren Energieversorgung (2050: -80 %) zu verstehen.

Die Zielvorgaben für die CO_2-Emissionen in den beiden Szenarien sind der Tabelle 4.2-9 zu entnehmen.

Tabelle 4.2-9 Vorgaben für die energiebedingten CO_2-Emissionen in den Reduktions-Szenarien I und II

	Einheit	Ausgangswerte[1)]		Zielwerte		
		1990	2000	2010	2020	2030
Reduktions-Szenario I	Mio. t CO_2	1014	863	783	710	608
	Änderung gegenüber 1990			- 23%	- 30 %	- 40%
Reduktions-Szenario II	Mio. t CO_2	1014	863	740	608	507
	Änderung gegenüber 1990			- 27%	- 40 %	- 50 %

[1)] Temperaturbereinigt

4.3 Referenzszenario und Modell-Basis-Szenario

4.3.1 Vorbemerkungen

Das Referenzszenario der Enquete-Kommission (Enquete Kommission, 2002) wurde vom IER, Stuttgart, in Anlehnung an den Energiereport III von Prognos/EWI erstellt. In dem Szenario von Prognos/EWI stehen prognostische Gesichtspunkte im Vordergrund, d.h. es werden zumindest implizit einzelwirtschaftliche Entscheidungen, Marktunvollkommenheiten und Hemmnisse berücksichtigt (Prognos/EWI 1999). Grundsätzlich zeichnen sich Szenarien, in denen „gehemmte Potenziale“ berücksichtigt werden, durch eine größere Realitätsnähe aus. Aufgrund dieser prognostischen Ausrichtung zeigen diese Szenarien jedoch in der Regel keine gesamtwirtschaftlich kostenoptimale Entwicklung auf. Tendenziell verlaufen in Szenarien mit prognostischem Charakter bestimmte Anpassungsprozesse an veränderte Rahmenbedingungen langsamer bzw. unter höheren Kosten als in Szenarien, in denen ein an volkswirtschaftlichen Kriterien ausgerichtetes Verhalten aller Wirtschaftssubjekte unterstellt wird.

Mit Hilfe der modellgestützten Szenarien sollen hier kosteneffiziente Handlungsfelder identifiziert werden. Auf dieser Grundlage werden „weitere“ Maßnahmen abgeleitet, die außerhalb

des Modells zu einem „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“ komponiert werden. Um eine weitestgehende Vergleichbarkeit zwischen den zuvor erarbeiteten Szenarien (Ohne-Maßnahmen, Mit-Maßnahmen) und den modellgestützten Läufen zu gewährleisten, wurde versucht, die wesentlichen Trends des modifizierten Enquete-Szenarios[115] im Modell zu berücksichtigen. Allerdings war nicht in jedem Fall eine vollständige Übereinstimmung mit dem in Kapitel 3.12 für das Jahr 2010 ausgewiesenen „Mit-Maßnahmen-Szenario“ und den in den folgenden Tabellen für dieses Jahr dargestellten Referenzszenarien möglich.

Das so genannte Modell-Basis-Szenario, das als kostenoptimale Entwicklung der Energieversorgung unter Berücksichtigung der gesetzten Randbedingungen zu interpretieren ist, dient im Folgenden insbesondere als Vergleichsmaßstab für die Reduktionsszenarien bei der Ermittlung der Anpassungskosten. Bei diesem Modell-Basis-Szenario wurden der Optimierungsspielraum entsprechend eingeengt bzw. Nachfragen in Anlehnung an die Enquete-Annahmen gesetzt. Eine detaillierte Zahlenübereinstimmung ist bei diesem Prozess naturgemäß nicht möglich, da mit unterschiedlichen Methoden gearbeitet wird.

4.3.2 Zur Interpretation der quantitativen Ergebnisse

Die im Folgenden dargestellten Szenarien beruhen im Hinblick auf ihre Datenbasis auf Angaben, die im IKARUS-LP-Modell implementiert sind. Hierbei ist darauf hinzuweisen, dass die vom Modell für das Jahr 2000 errechneten Bilanzen teilweise von den amtlichen und halbamtlichen Daten aus der Energiestatistik bzw. von den offiziellen Emissionsdaten etwa des Umweltbundesamtes abweichen. Die Abweichungen bewegen sich hierbei in einem vertretbaren Rahmen (siehe Anhang).

Auf eine weitere Datenübereinstimmung wurde aus zwei Gründen verzichtet:

1. Dies hätte zu stark von außen in die Systematik des Modells eingegriffen, ohne dass dies noch in seinen Auswirkungen nachvollzogen werden könnte.

2. Der Erkenntnisgewinn wäre vergleichsweise gering gewesen, weil es bei den Ergebnissen der Modellrechnungen weniger auf die exakten absoluten Werte als auf die jeweiligen Veränderungen ankommt.

---

[115] Dieses „modifizierte“ Referenzszenario der Enquete-Kommission ist zusammenfassend in Kapitel 3.12 für das Jahr 2010 als „Mit-Maßnahmen-Szenario“ dargestellt worden.

Schließlich ist auch zu bedenken, dass die Datendiskrepanzen nicht derart gravierend sind, dass dadurch die Ergebnisse „verfälscht“ worden wären. Die Differenzen zwischen Modellergebnissen und den temperaturbereinigten „offiziellen“ Bilanzwerten für das Jahr 2000 werden im Anhang erläutert. Die Ergebnisse des Modell-Basis-Szenarios werden in den nachfolgenden Tabellen mit den Ergebnissen des Referenzszenarios der Enquete-Kommission dargestellt. Als Vergleichsbasis für das Jahr 2000 werden die temperaturbereinigten Bilanzwerte benutzt. Aussagekräftiger wäre zwar ein Vergleich mit den jeweiligen Modellwerten für das Jahr 2000. Da diese jedoch nur für das IKARUS-Modell und nicht für das im Rahmen der Enquete-Rechnungen benutzte Modell vorliegen, musste hierauf verzichtet werden. Vor diesem Hintergrund sind insbesondere die Ergebnisse in der zeitlichen Entwicklung bis zum Jahr 2010 zu interpretieren.

Mehr noch als die hier angesprochene Datenproblematik sind bei der Interpretation der quantitativen Ergebnisse insbesondere für die Reduktionsszenarien die demographischen und ökonomischen Rahmendaten für die Szenariorechnungen sowie die Philosophie und die Architektur des hier verwendeten Modells zu beachten.

Speziell für den Verkehrssektor räumt das Modell Anpassungsstrategien (z.B. Verhaltensänderungen) einen bei weitem zu geringem Spielraum ein. Das hat dann zur Konsequenz, dass die Anpassungslasten bei sehr starken Emissionsrestriktionen in vermutlich zu starkem Ausmaß auf die anderen Sektoren verlagert werden. Damit werden die Anpassungsmöglichkeiten in diesem Sektor möglicherweise unterschätzt.

Bei der Interpretation des Modell-Basis-Szenarios ist zu beachten, dass es sich hierbei teilweise um ein „Mit-Maßnahmen“-Szenario handelt.[116] D.h. die Auswirkungen der heute bestehenden Instrumente (z.B. EEG, KWK-Gesetz, Selbstverpflichtung etc.) wurden auf Basis aktueller Detailstudien bis zum Jahr 2030 exogen extrapoliert und in das Modell implementiert. Demzufolge dürfen sie *nicht als Ergebnis einer Optimierungsrechnung* interpretiert werden.

[116] Allerdings sollte dies nicht verwechselt werden mit dem Mit-Maßnahmen-Szenario, das auf der Grundlage von Detailanalysen der Wirkungen der klimaschutzpolitischen Maßnahmen auf die CO_2-Emissionen für das Jahr 2010 entwickelt worden ist (siehe Kapitel 3).

4.3.3 Referenz- und Modell-Basis-Szenario im Vergleich der Ergebnisse

Das Modell-Basis-Szenario lässt sich im *Sinne eines volkswirtschaftlich optimalen Szenarios* unter Berücksichtigung der exogen vorgegebenen Randbedingungen (z.B. Kohlebounds, Quoten für erneuerbare Energien etc.) interpretieren, wobei allerdings kein Emissionsziel vorgegeben wird. Das Modell berechnet für den betreffenden Zeitraum eine unter volkswirtschaftlichen Kriterien kostenoptimale Struktur des Energiesystems sowie die daraus resultierenden Energieverbrauchsmengen und Emissionen. Dieser Aspekt ist insbesondere zu beachten, wenn Vergleiche mit den Ergebnissen von Referenzentwicklungen anderer Szenarien oder Prognosen angestellt werden, die meistens von einer Business-as-Usual-Entwicklung ausgehen und insoweit nicht kostenoptimal sind. Hiermit lassen sich auch größtenteils die Differenzen zwischen dem Referenzszenario und dem Modell-Basis-Szenario erklären.

Im Referenzszenario der Enquete-Kommission sinkt der Primärenergieverbrauch von 2000 bis 2030 um 15 %. Ein etwas stärkerer Rückgang ergibt sich dagegen im Modell-Basis-Szenario. Im Vergleich zum Referenzszenario wird im Modell-Basis-Szenario im Jahr 2030 rund 7 % weniger Energie verbraucht. Gegenüber dem Jahr 2000 nimmt der gesamte Primärenergieverbrauch im Modell-Basis-Szenario bis zum Jahre 2010 um 8 %, bis 2020 um 14 % und bis 2030 um 19 % ab (Tabelle 4.3-1)

Unterschiede zwischen den beiden Szenarien ergeben sich auch hinsichtlich der Anteile der jeweils eingesetzten Energieträger. Im Referenzszenario ist ein Trend in Richtung eines steigenden Gaseinsatzes zu erkennen. Im Modell-Basis-Szenario sinkt dagegen der Gaseinsatz zunächst und steigt danach wieder etwas an. Beide Szenarien unterscheiden sich u.a. auch hinsichtlich des Kohleeinsatzes: Während der Einsatz von Braunkohlen im Modell-Basis-Szenario sich um mehr als 15 % vermindert, nimmt er im Referenzszenario um 9 % ab. Eine gleiche Tendenz ist beim Steinkohleneinsatz festzustellen.

Tabelle 4.3-1 Primärenergieverbrauch bis zum Jahre 2030 im Modell-Basis-Szenario und im Referenzszenario

Angaben in PJ	hist. Werte*	Modellergebnisse			Änderung gegenüber 2000		
	2000	2010	2020	2030	2010	2020	2030
Modell-Basis-Szenario							
Steinkohlen	2024	1702	1913	1941	-16%	-6%	-4%
Braunkohlen	1581	1403	1400	1341	-11%	-11%	-15%
Mineralöle**	5446	5192	4977	4607	-5%	-9%	-15%
Gase	3268	2947	2937	3043	-10%	-10%	-7%
Kernenergie	1871	1617	693	0	-14%	-63%	-100%
Erneuerbare u. Sonstige	460	624	742	886	36%	61%	93%
Summe	14650	13487	12661	11817	-8%	-14%	-19%
Referenzszenario							
Steinkohlen	2024	1691	1860	2035	-16%	-8%	1%
Braunkohlen	1581	1476	1470	1438	-7%	-7%	-9%
Mineralöle	5685	5495	5206	4876	-3%	-8%	-14%
Gase	3268	3321	3450	3492	2%	6%	7%
Kernenergie	1871	1691	912	0	-10%	-51%	-100%
Erneuerbare u. Sonstige	460	624	722	884	36%	57%	92%
Summe	14889	14298	13621	12725	-4%	-9%	-15%

Anmerkungen: * temperaturbereinigt ** ohne Auslandsluftverkehr
Datenquellen: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 2002, Enquete-Kommission 2002, Berechnungen FZJ-STE

Im beiden Szenarien liegt der Endenergieverbrauch im Jahr 2030 deutlich unter dem Niveau von 2000 (Tabelle 4.3-2).

Tabelle 4.3-2 Endenergieverbrauch nach Sektoren im Modell-Basis-Szenario und im Referenzszenario

Angaben in PJ	hist. Werte*	Modellergebnisse			Änderung gegenüber 2000		
	2000	2010	2020	2030	2010	2020	2030
Modell-Basis-Szenario							
Industrie	2459	2528	2446	2422	3%	-1%	-1%
GHD	1610	1599	1522	1434	-1%	-5%	-11%
Haushalt	2961	2832	2754	2691	-4%	-7%	-9%
Verkehr**	2506	2799	2710	2507	12%	8%	0%
Summe	9536	9758	9432	9054	2%	-1%	-5%
Referenzszenario							
Industrie	2459	2509	2508	2486	2%	2%	1%
GHD	1610	1518	1511	1526	-6%	-6%	-5%
Haushalt	2961	2841	2865	2710	-4%	-3%	-8%
Verkehr	2745	2838	2757	2639	3%	0%	-4%
Summe	9775	9705	9641	9362	-1%	-1%	-4%

Anmerkungen: * temperaturbereinigt ** ohne Auslandsluftverkehr
Datenquellen: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 2002, Enquete-Kommission 2002, Berechnungen FZJ-STE

Unterschiede zwischen Modell-Basis-Szenario und Referenzszenario ergeben sich in allen Sektoren, allerdings in unterschiedlichen Ausprägungen. So wird im Jahr 2030 im Referenzszenario der Rückgang des Energieverbrauchs im Verkehrsbereich um ca. 105 PJ geringer eingeschätzt als im Modell-Basis-Szenario, während der Energieverbrauch im Sektor GHD (Kleinverbraucher) um ca. 90 PJ höher ausfällt. Allerdings ist der im Wesentlichen nachfragebedingte Verbrauchsanstieg im Verkehrssektor im Modell-Basis-Szenario in der ersten Dekade wesentlich stärker. Nach dem Jahr 2010 sind die verkehrsseitigen Verbrauchsmengen in beiden Szenarien rückläufig. Dies bedeutet, dass die nachfragebedingten Anstiege vor allem durch Effizienzverbesserungen kompensiert bzw. überkompensiert werden.

Der abnehmende Energieverbrauch im Modell-Basis-Szenario im GHD- und im Haushaltssektor ist zum einen mit der Substitution von Heizungssystemen, die auf Basis fester und flüssiger Energieträger betrieben werden, durch hocheffiziente Erdgasheizungen zu erklären. Zum anderen spielt die Wärmedämmung in Altbauten innerhalb des Renovierungszyklus bzw. in Neubauten mit fortschreitendem Betrachtungszeitraum eine immer größere Rolle. Im Jahr 2030 verbrauchen die Haushalte rund 11 % mehr Erdgas als 2000. Dagegen nimmt der Heizöleinsatz gegenüber 2000 um etwa 25 % ab.

Im Modell-Basis-Szenario sinkt der Mineralölverbrauch bis 2030 um ca. 10 % unter das Niveau von 2000. Im Referenzszenario wird dagegen ein Rückgang des Mineralölverbrauchs um ca. 15 % erwartet. Hierbei ist zu beachten, dass der verkehrsbedingte Mineralölverbrauch des Referenzszenarios auch den Auslandsluftverkehr beinhaltet. Der Mineralölverbrauch fällt im Referenzszenario somit deutlich niedriger aus als im Modell-Basis-Szenario (Tabelle 4.3-3).

Der Stromverbrauch steigt im Modell-Basis-Szenario bis zum Jahre 2010 leicht und fällt danach wieder fast auf den Wert von 2000 zurück. Am stärksten ausgeprägt ist der Rückgang im Haushaltsektor, der sich im wesentlichen auf den Einsatz effizienterer Elektrogeräte und zum Ende des Betrachtungszeitraums auf den nachfragebedingten Bevölkerungsrückgang zurückzuführen ist. Der Anstieg des Stromverbrauchs im Verkehrssektor ist auf eine Verlagerung des straßengebundenen Güterverkehr und Personenfernverkehrs auf die Schiene zu begründen. Das Potenzial der Verlagerung auf die Schiene wird bereits im Modell-Basis-Szenario vollständig ausgeschöpft.

Tabelle 4.3-3 Endenergieverbrauch nach Energieträgern im Modell-Basis-Szenario und im Referenzszenario

Angaben in PJ	hist. Werte*	Modellergebnisse			Änderung gegenüber 2000		
	2000	2010	2020	2030	2010	2020	2030
Modell-Basis-Szenario							
Kohle	527	464	387	336	-12%	-27%	-36%
Mineralölprodukte**	4084	4178	3998	3644	3%	-1%	-10%
Gase	2619	2720	2693	2800	4%	3%	7%
Strom	1753	1827	1791	1741	4%	2%	-1%
Fernwärme	384	398	392	362	4%	2%	-6%
Sonstige	205	171	171	171	-17%	-17%	-17%
Summe	9536	9758	9432	9054	2%	-1%	-5%
Referenzszenario							
Kohle	527	421	393	359	-20%	-25%	-32%
Mineralölprodukte	4287	4162	3945	3657	-3%	-8%	-15%
Gase	2619	2687	2797	2788	3%	7%	6%
Strom	1753	1843	1896	1906	5%	8%	9%
Fernwärme	384	343	350	348	-11%	-9%	-9%
Sonstige	205	250	259	304	22%	26%	48%
Summe	9775	9705	9641	9362	-1%	-1%	-4%

Anmerkungen: * temperaturbereinigt ** ohne Auslandsluftverkehr
Datenquellen: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 2002, Enquete-Kommission 2002, Berechnungen FZJ-STE

Im Referenzszenario nimmt der Stromverbrauch kontinuierlich zu: Im Jahre 2030 liegt er in diesem Szenario schließlich etwa 9 % über dem Niveau von 2000. Am stärksten erhöht er sich im GHD-Sektor und im Verkehr (Tabelle 4.3-4).

Tabelle 4.3-4 Stromverbrauch nach Sektoren bis zum Jahre 2030 im Modell-Basis-Szenario und im Referenzszenario

Angaben in TWh	Hist. Werte*	Modellergebnisse			Änderung gegenüber 2000		
	2000	2010	2020	2030	2010	2020	2030
Modell-Basis-Szenario							
Industrie	209	214	211	221	2%	1%	6%
GHD	129	132	136	128	3%	6%	0%
Haushalt	133	144	132	116	8%	-1%	-12%
Verkehr	16	18	18	18	10%	13%	11%
Summe	487	508	497	484	4%	2%	-1%
Referenzszenario							
Industrie	209	220	233	237	5%	11%	13%
GHD	129	137	146	152	7%	13%	18%
Haushalt	133	136	126	113	2%	-5%	-15%
Verkehr	16	19	22	27	16%	35%	65%
Summe	487	512	527	529	5%	8%	9%

Anmerkung: * temperaturbereinigt
Datenquellen: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 2002, Enquete-Kommission 2002, Berechnungen FZJ-STE

Beim Vergleich der beiden Szenarien ist zu beachten, dass im Modell-Basis-Szenario aufgrund der geringeren Stromnachfrage auch die Stromproduktion deutlich geringer ausfällt als im Referenzszenario. Sowohl im Modell-Basis-Szenario als auch im Referenzszenario ändert sich die Struktur der Stromversorgung im Zeitablauf deutlich (Tabelle 4.3-5).

Tabelle 4.3-5 Stromerzeugung nach Energieträgern im Modell-Basis-Szenario und im Referenzszenario

Angaben in TWh	hist. Werte*	Modellergebnisse			Änderung gegenüber 2000		
	2000	2010	2020	2030	2010	2020	2030
Modell-Basis-Szenario							
Steinkohlen	135	127	168	185	-6%	24%	37%
Braunkohlen	138	133	155	157	-4%	13%	14%
Heizöl	4	5	0	0	30%	-100%	-100%
Erdgas	59	58	58	60	-3%	-2%	1%
Kernenergie	163	141	61	0	-13%	-63%	-100%
Wasserkraft	26**	20	22	22	-22%	-17%	-17%
Wind, PV	9	38	58	92	314%	528%	898%
Sonstiges	12	25	28	27	108%	137%	126%
Summe	546	546	550	543	0%	1%	-1%
Referenzszenario							
Steinkohlen	135	132	183	221	-3%	35%	63%
Braunkohlen	138	146	174	181	6%	26%	31%
Heizöl	4	4	1	0	8%	-69%	-100%
Erdgas	59	69	60	66	17%	0%	11%
Kernenergie	163	147	79	0	-10%	-52%	-100%
Wasserkraft	26**	23	25	25	-10%	-5%	-3%
Wind, PV	9	21	27	52	126%	198%	467%
Sonstiges	12	15	20	23	30%	71%	94%
Summe	546	557	570	568	2%	4%	4%

Anmerkung: * temperaturbereinigt, ** nicht witterungsbereinigt
Datenquellen: BMWi 2002; Enquete-Kommission 2002, Berechnungen FZJ-STE

Zu den strukturellen Änderungen trägt insbesondere die Entwicklung der Kernenergie bei. In beiden Szenarien werden die abgeschalteten Kernkraftwerke allmählich durch fossile Kraftwerke ersetzt. Während im Referenzszenario die Braunkohle bei der Stromerzeugung deutlich an Bedeutung gewinnt, nimmt sie im Modell-Basis-Szenario in etwas geringerem Maße zu. Gleiches gilt für den Einsatz von Steinkohle. Die Nutzung der Windenergie und anderer erneuerbarer Energien entspricht den exogen vorgegebenen Mindestkapazitäten. Allerdings unterscheidet sich die Einschätzung der Windenergienutzung zwischen Modell-Basis-Szenario und Referenzentwicklung erheblich. Während im Referenzszenario von etwa 13 GW installierter Windkraftkapazität im Jahr 2010 ausgegangen wird, liegt der vergleichbare Wert des

Modell-Basis-Szenarios bei etwa 19 GW. Im Jahr 2030 beträgt die Differenz des durch Windkraft erzeugten Stroms etwa 40 TWh.

Die installierte Nettoleistung nimmt im Modell-Basis-Szenario gegenüber 2000 bis 2030 aufgrund des unterstellten Ausbaus der Windenergie trotz der Verminderung des Stromverbrauchs und des Abbaus von Überkapazitäten (z.B. Kraftwerke mit öl- und gasbefeuerten Dampferzeugern) um rund 8 GW zu. Aufgrund der pessimistischer eingeschätzten Entwicklung des Stromverbrauchs bleibt im Referenzszenario die Netto-Engpassleistung bis 2030 in etwa konstant. Der Anteil der Kohlekraftwerke an der installierten Leistung beträgt in diesem Szenario am Ende des Betrachtungszeitraumes ca. 50 % und im Modell-Basis-Szenario ca. 41 % (Tabelle 4.3-6).

Tabelle 4.3-6 Netto-Engpassleistung nach Energieträgern im Modell-Basis-Szenario und im Referenzszenario

Angaben in GW	Hist. Werte	Modellergebnisse			Änderung gegenüber 2000		
	2000	2010	2020	2030	2010	2020	2030
Modell-Basis-Szenario							
Steinkohlen	30	23	28	31	-24%	-9	1%
Braunkohlen	20	19	23	22	-5%	13%	12%
Heizöl	7	5	1	1	-33%	-87%	-87%
Erdgas	21	21	26	28	-2%	20%	30%
Kernenergie	22	18	8	0	-18%	-65%	-100%
Wasserkraft	9	8	8	8	-10%	-10%	-10%
Wind, PV	6	19	25	35	218%	311%	474%
Sonstiges	4	3	3	3	-26%	-15%	-33%
Summe	120	116	121	128	-3%	1%	6%
Referenzszenario							
Steinkohlen	30	24	30	35	-20%	-2%	16%
Braunkohlen	20	21	24	24	7%	19%	22%
Heizöl	7	3	3	0	-61%	-62%	-100%
Erdgas	21	23	20	21	9%	-6%	-3%
Kernenergie	22	20	11	0	-12%	-53%	-100%
Wasserkraft	9	10	10	10	14%	14%	14%
Wind, PV	6	13	15	24	106%	153%	297%
Sonstiges	4	3	5	5	-16%	12%	25%
Summe	120	118	117	120	-2%	-3%	-1%

Datenquellen: BMWi 2002, Enquete-Kommission 2002, Berechnungen FZJ-STE

Der hohe Anteil der Windkraftanlagen beeinflusst schon im Modell-Basis-Szenario massiv die Auslastung der konventionellen Anlagen und damit die gesamte Leistungsbilanz, da ein nicht unerheblicher Leistungsanteil als Back-Up-Leistung bereitgestellt werden muss.

Gegenüber den Basisszenarien, die in den vorherigen Politikszenarien-Vorhaben erstellt wurden, nimmt im vorliegenden Modell-Basis-Szenario der Einsatz von Kohlekraftwerken zu, während die Gasverstromung in etwa konstant bleibt. Dies ist hauptsächlich mit unterschiedlichen Rahmenannahmen und Dateneinschätzungen begründet. Allerdings ist die spezifische Kostendifferenz relativ gering, so dass nicht zwingend von einem robusten Ergebnis gesprochen werden kann (siehe Kapitel 4.6).

Aus Tabelle 4.3-7 ist die Entwicklung der CO_2-Emissionen im Modell-Basis- und dem Referenzszenario ersichtlich. Im oberen Teil der Tabelle erfolgt eine Aufgliederung der Gesamtemissionen in Anlehnung an die Bilanzierung von UBA (2003); im unteren Teil nach der Systematik der AG Energiebilanzen. Die Bilanzierung in Anlehnung an UBA (2003) unterscheidet sich von der Systematik der AG-Energiebilanzen dadurch, dass der Übrige Umwandlungsbereich (hierzu zählen z.B. die Raffinieren) der Industrie zugeordnet wird. Abweichungen zu der Systematik der AG-Energiebilanzen ergeben sich zudem im Bereich des GHD-Sektors: Während die AG Energiebilanzen die Land-, Forst- und Bauwirtschaft dem GHD-Bereich zuschlagen, werden sie bei der UBA-Bilanzierung dem Verkehr zugeordnet.

Gegenüber dem Ausgangsjahr 1990 nehmen die energiebedingten CO_2-Emissionen bis 2010 um 19 % (Referenzszenario) bzw. 20% (Modell-Basis-Szenario) ab. In der folgenden Dekade steigen die Emissionen im Referenzszenario um einen Prozentpunkt während sich die Emissionen im Modell-Basis-Szenario stabilisieren. Bis zum Jahr 2030 sinken die CO_2-Emissionen im Referenzszenario um einen weiteren Prozentpunkt. Etwas stärker fallen die Emissionen im Modell-Basis-Szenario (Tabelle 4.3-7). Zu den höheren Emissionen im Referenzszenario trägt insbesondere der relativ hohe Zubau von Kohlekraftwerken bei. Hierdurch fallen die Emissionsminderungen im Umwandlungssektor geringer aus als im Modell-Basis-Szenario.

Im Modell-Basis-Szenario leistet der Industriesektor mit einer Reduktion seiner Emissionen um ca. 40 % zwar einen relativ hohen Beitrag, die Reduktion der CO_2-Emissionen gegenüber 1990 resultiert vor allem jedoch aus der Entwicklung im Umwandlungssektor. In beiden Szenarien liegen die Emissionen im Verkehr bis zum Jahre 2020 deutlich über denen von 1990. Eine deutliche Reduktion der Emissionen im Verkehrsbereich wird erst für den Zeitraum nach 2020 erwartet.

Letztendlich ist festzustellen, dass im Modell-Basis-Szenario wie im Referenzszenario das CO_2-Minderungsziel für das Jahr 2005 (-25% gegenüber 1990) bei weitem nicht eingehalten wird. Ein solches CO2-Minderungsziel würde nach diesen Szenarien auch nicht bis zum Jahre 2030 erreicht werden.

Tabelle 4.3-7 Energiebedingte CO_2-Emissionen nach Sektoren im Modell-Basis-Szenario und im Referenzszenario

Entwicklung der Emissionen - Sektorgliederung gemäß Bilanzierung UBA (2003)								
Angaben in Mio. t CO_2	**Hist. Werte***		**Modellergebnisse**			**Änderung gegenüber 1990**		
	1990	**2000**	**2010**	**2020**	**2030**	**2010**	**2020**	**2030**
Modell-Basis-Szenario								
Industrie[1)]	215	141	135	128	124	-37%	-40%	-42%
GHD, Haushalte[2)]	227	192	186	176	170	-18%	-22%	-24%
Verkehr[3)]	172	188	202	196	181	18%	14%	5%
Umwandlung[4)]	400	342	290	313	308	-28%	-22%	-23%
Summe	1014	863	812	815	784	-20%	-20%	-23%
Entwicklung der Emissionen - Sektorgliederung gemäß Systematik AG Energiebilanzen								
Angaben in Mio. t CO_2	**Hist. Werte***		**Modellergebnisse**			**Änderung gegenüber 1990**		
	1990	**2000**	**2010**	**2020**	**2030**	**2010**	**2020**	**2030**
Modell-Basis-Szenario								
Industrie[5)]	171	119	115	109	104	-33%	-36%	-39%
GHD, Haushalte[6)]	241	201	188	179	173	-22%	-26%	-28%
Verkehr[7)]	158	178	196	190	175	24%	20%	11%
Umwandlung[8)]	443	365	312	337	331	-30%	-24%	-25%
Summe	1014	863	812	815	784	-20%	-20%	-23%
Referenzszenario								
Industrie[5)]	171	119	113	108	101	-34%	-37%	-41%
GHD, Haushalte[6)]	241	201	186	185	177	-23%	-23%	-27%
Verkehr[7)]	158	178	188	181	170	19%	15%	8%
Umwandlung[8)]	443	365	338	356	367	-24%	-20%	-17%
Summe	1014	863	825	830	816	-19%	-18%	-19%

Anmerkung: * temperaturbereinigt [1)] inkl. Übriger Umwandlungsbereich [2)] ohne Land-, Forst- und Bauwirtschaft [3)] inkl. Land-, Forst- und Bauwirtschaft [4)] ohne Übriger Umwandlungsbereich [5)] ohne Übriger Umwandlungsbereich [6)] inkl. Land-, Forst- und Bauwirtschaft [7)] ohne Land-, Forst- und Bauwirtschaft [8)] inkl. Übriger Umwandlungsbereich.

Datenquellen: Enquete-Kommission 2002; Berechnungen FZJ-STE

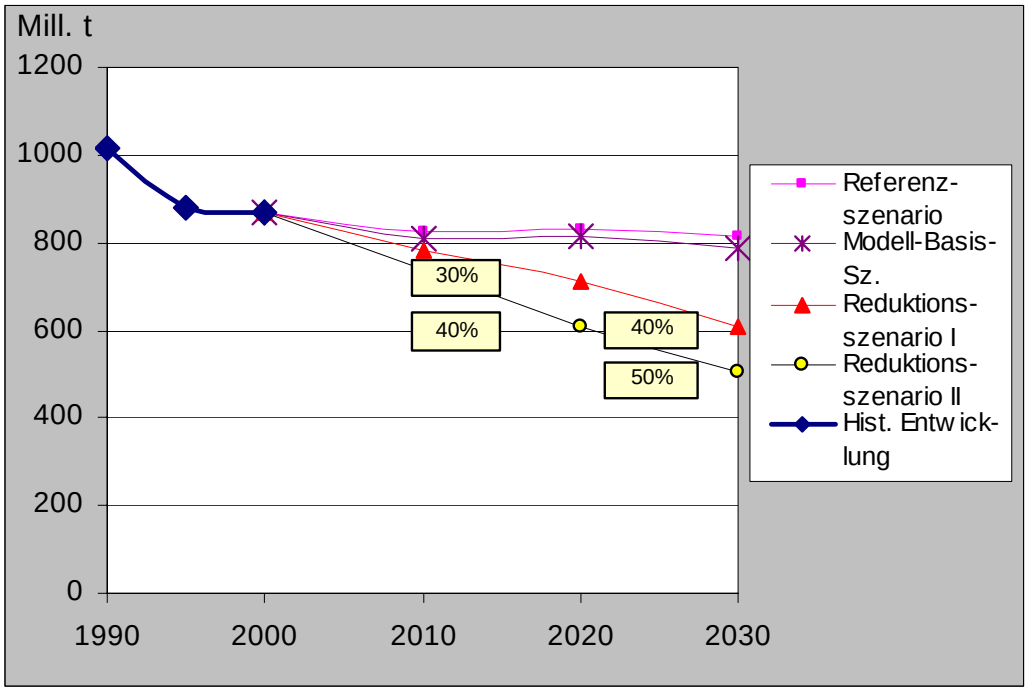
Nimmt man jedoch alle Klimagase in den Blick und berücksichtigt die in den Kapiteln zuvor geschätzten Veränderungen der Nicht-CO_2-Emissionen, wird im Modell-Basis-Szenario der Zielwert des EU-Burden-Sharing erreicht und im Referenzszenario leicht verfehlt. Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass das Kyoto-Ziel sowie die danach errechnete Minderung bis zum

Jahr 2030 im Modell-Basis-Szenario mit einer Reihe von Maßnahmen erreicht wird, deren kostenseitiger Aufwand nicht unerheblich ist.

4.4 Die Reduktionsszenarien

Vereinbarungsgemäß wurden zwei Reduktionsszenarien gerechnet. Während das erste Reduktionsszenario eine maßvolle Klimaschutzpolitik (Reduktions-Szenario I) repräsentiert, beschreibt das zweite Szenario eine nachhaltige(re) und ambitioniertere Klimaschutzpolitik (Reduktions-Szenario II). Die in den beiden Reduktionsszenarien gesetzten CO_2-Ziele sind aus Abbildung 4.4-1 ersichtlich.

Abbildung 4.4-1 Energiebedingte CO_2-Emissionen in den Modell-Basis-, Referenz- und Reduktionsszenarien

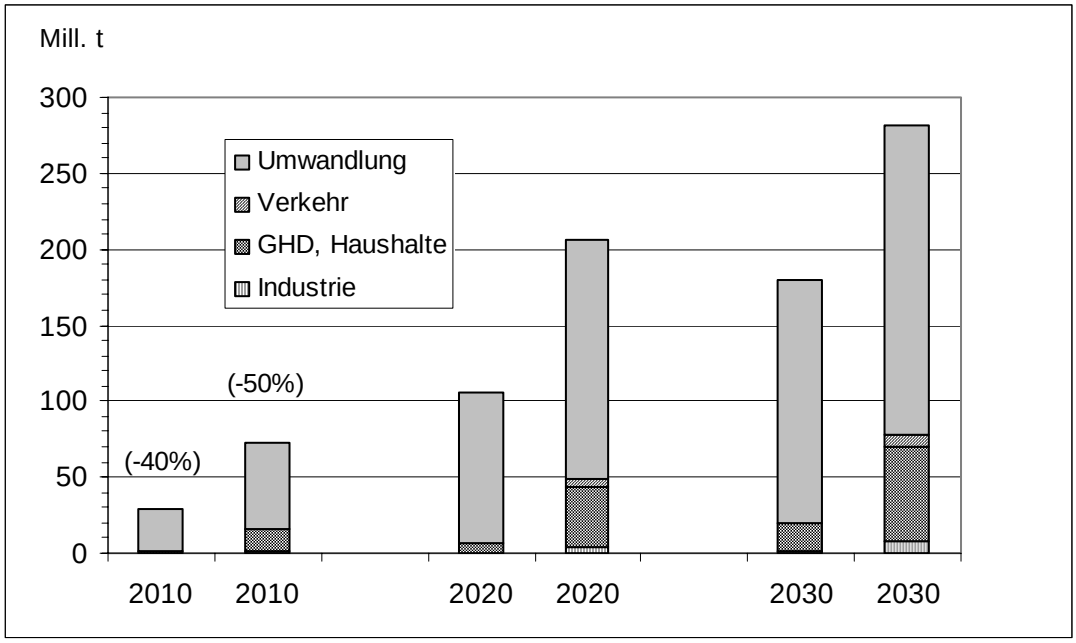


Da bereits im Referenzszenario wie im Modell-Basis-Szenario die CO_2-Emissionen bis 2010 gegenüber 1990 um 19 bzw. 20 % sinken, sind die Minderungsvorgaben des Reduktions-Szenario I zunächst relativ moderat. Größere Anstrengungen sind nötig, um nach 2010 zusätzliche Emissionsminderungsziele zu erreichen.[117]

[117] Zum besseren Verständnis sei darauf hingewiesen, dass die unter volkswirtschaftlichen Kostenkriterien ermittelten CO_2-Emissionen im Modell-Basis-Szenario keineswegs bedeuten, dass sich diese Entwicklung „quasi von alleine“ einstellt. Vielmehr ist schon dazu eine ausgeprägte Klimaschutzpolitik unabdingbar.

Hierbei ist auch zu beachten, dass gegenüber dem Modell-Basis- bzw. dem Referenzszenario die Mindestnutzungsmengen für den Braunkohleeinsatz geändert wurden. Der größte zusätzliche Minderungsbeitrag zeigt sich im Umwandlungsbereich. Mit einem Anteil von weit über 80% an den gesamten eingesparten Emissionen im Jahr 2030 trägt er maßgeblich zum Erreichen des Emissionsziels bei. Die zusätzlichen (direkten) Minderungsbeiträge in den anderen Sektoren fallen dagegen eher gering aus (Abbildung 4.4-2). Die Minderung im Umwandlungssektor ist hauptsächlich auf eine rückläufige Kohleverstromung zurückzuführen. An deren Stelle tritt die Stromerzeugung aus hocheffizienten und kostengünstigen Erdgaskraftwerken, von denen nach 2010 zunehmend Anlagen auf KWK-Basis eingesetzt werden. Die Substitution von Kohle durch Erdgas stellt im Reduktions-Szenario I die bei weitem wichtigste Minderungsmaßnahme dar. Allerdings lassen sich hiermit die stringenteren Minderungsziele des Reduktions-Szenarios II nicht alleine erreichen.

Abbildung 4.4-2 CO_2-Einsparung nach Sektoren bei vorgegebener Reduktion bis 2030 um 40 % bzw. um 50 %



Grundsätzlich fallen daher im Reduktions-Szenario II (50%-Reduktion bis 2030) die von den Endverbrauchssektoren zu leistenden Minderungen deutlich höher aus als im Reduktions-Szenario I (vgl. Abbildung 4.4-2). Ihr Anteil an der gesamten eingesparten CO_2-Menge beträgt im Jahr 2030 etwa ein Drittel. Den größten Beitrag leistet der Bereich „GHD, Haushalte“, was vor allem auf den verstärkten Einsatz von Wärmedämmmaßnahmen zurückzuführen

ist. Bedingt durch die höheren endenergieseitigen Einsparungen liegt gegenüber dem Reduktions-Szenario I der Erdgaseinsatz deutlich niedriger.

Tabelle 4.4-1 Sektorale CO_2-Minderungsbeiträge in den Reduktionsszenarien im Vergleich zum Modell-Basis-Szenario und dem Referenzszenario

Entwicklung der Emissionen – Sektorgliederung gemäß Bilanzierung UBA (2003)														
Angaben in Mio. t CO_2	**hist. - Werte***		**Modell-ergebnisse**			**Abweichung - gegenüber Referenzszenario**			**Abweichung gegenüber Modell-Basis Szenario**			**Veränderung gegenüber 1990**		
	1990	**2000**	**2010**	**2020**	**2030**	**2010**	**2020**	**2030**	**2010**	**2020**	**2030**	**2010**	**2020**	**2030**
Reduktions-Szenario I														
Industrie[1)]	215	141	133	126	122	k.A.	k.A.	k.A.	-1%	-2%	-2%	-38%	-41%	-43%
GHD, Haushalte[2)]	226	192	185	169	151	k.A.	k.A.	k.A.	0%	-4%	-11%	-18%	-25%	-33%
Verkehr[3)]	172	188	202	196	181	k.A.	k.A.	k.A.	0%	0%	0%	18%	14%	5%
Umwandlung[4)]	400	342	263	218	153	k.A.	k.A.	k.A.	-9%	-30%	-50%	-34%	-45%	-62%
Summe	1014	863	783	709	608	k.A.	k.A.	k.A.	-4%	-13%	-23%	-23%	-30%	-40%
Reduktions-Szenario II														
Industrie[1)]	215	141	131	117	110	k.A.	k.A.	k.A.	-3%	-9%	-11%	-39%	-46%	-49%
GHD, Haushalte[2)]	226	192	172	136	109	k.A.	k.A.	k.A.	-7%	-23%	-36%	-24%	-40%	-52%
Verkehr[3)]	172	188	201	189	167	k.A.	k.A.	k.A.	0%	-4%	-8%	17%	10%	-3%
Umwandlung[4)]	407	342	235	164	120	k.A.	k.A.	k.A.	-19%	-48%	-61%	-41%	-59%	-70%
Summe	1014	863	739	607	507	k.A.	k.A.	k.A.	-9%	-26%	-35%	-27%	-40%	-50%

Entwicklung der Emissionen - Sektorgliederung gemäß Systematik AG Energiebilanzen														
Angaben in Mio. t CO_2	**Hist. – Werte***		**Modell-ergebnisse**			**Abweichung - gegenüber Referenzszenario**			**Abweichung gegenüber Modell-Basis Szenario**			**Veränderung gegenüber 1990**		
	1990	**2000**	**2010**	**2020**	**2030**	**2010**	**2020**	**2030**	**2010**	**2020**	**2030**	**2010**	**2020**	**2030**
Reduktions-Szenario I														
Industrie	171	119	115	109	102	2%	1%	1%	0%	1%	-1%	-33%	-37%	-40%
GHD, Haushalte	241	201	187	172	156	1%	-7%	-12%	0%	-4%	-10%	-22%	-28%	-35%
Verkehr	158	178	196	190	175	4%	5%	3%	0%	0%	0%	24%	20%	11%
Umwandlung	443	365	284	238	174	-16%	-33%	-53%	-9%	-29%	-48%	-36%	-46%	-61%
Summe	1014	863	783	709	608	-5%	-15%	-25%	-4%	-13%	-22%	-23%	-30%	-40%
Reduktions-Szenario II														
Industrie	171	119	113	103	94	0%	-4%	-7%	-2%	-4%	-9%	-34%	-40%	-45%
GHD, Haushalte	241	201	175	140	113	-6%	-24%	-37%	-7%	-22%	-35%	-28%	-42%	-53%
Verkehr	158	178	196	184	169	4%	2%	-2%	0%	-3%	-4%	24%	17%	7%
Umwandlung	443	365	256	180	131	-24%	-50%	-64%	-18%	-47%	-61%	-42%	-59%	-70%
Summe	1014	863	739	607	507	-10%	-27%	-38%	-9%	-26%	-35%	-27%	-40%	-50%

Anmerkungen: * temperaturbereinigt [1)] inkl. Übriger Umwandlungsbereich [2)] ohne Land-, Forst- und Bauwirtschaft [3)] inkl. Land-, Forst- und Bauwirtschaft [4)] ohne Übriger Umwandlungsbereich

Abweichung zwischen Einzelwerten und Summe ergeben sich aufgrund von Rundungen

Quellen: Enquete-Kommission 2002; Berechnungen FZJ-STE

Eine Übersicht über die Handlungsfelder, die in den Reduktions-Szenarien I und II zum Einsatz kommen, ist aus Tabelle 4.4-2 ersichtlich.

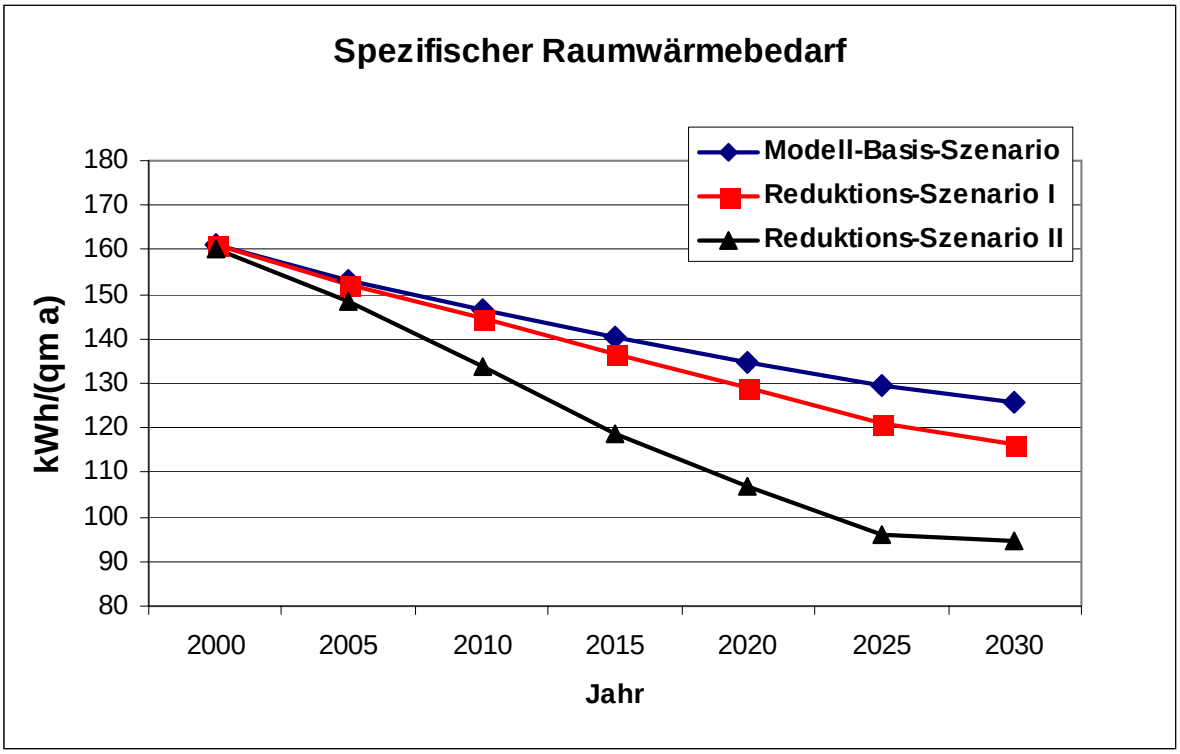
Tabelle 4.4-2 Überblick über die wichtigsten Maßnahmenfelder in den Reduktionsszenarien - Änderungen im Jahr 2030 gegenüber dem Modell-Basis-Szenario

		Reduktions-Szenario I	Reduktions-Szenario II
Umwandlung	**Reduktion (Mio. t)**	**158**	**201**
	Maßnahmen	• Rückgang der Stromproduktion um ca. 10% durch Einsparung in den Endverbrauchssektoren (z.B. weniger Elektroheizungen etc.) • Rückgang der Braunkohle- (-75%) und der Steinkohleverstromung (-90%) • Substitution von Kohlestrom durch Strom aus erdgasbefeuerten GuD-Kraftwerken • Mehr Fernwärme und KWK-Strom aus erdgasbefeuerten GuD-Kraftwerken, Substitution von kohlebasiertem KWK-Strom • Ausbau der Windenergie (On-Shore und Off-Shore) • Ausbau der Nahwärmeversorgung auf Basis von Erdgas und Biogas	• Rückgang der Stromproduktion um ca. 12% durch Einsparung in den Endverbrauchssektoren (z.B. weniger Elektroheizungen etc.) • Weiterer Rückgang der Kohleverstromung über die Einsparung des Reduktions-Szenarios I hinaus (bereits schon ab 2010) • Substitution von Kohlestrom durch Strom aus erdgasbefeuerten GuD-Kraftwerken, allerdings geringer als in Szenario I • Starker Ausbau von Biomasse- und Biogas KWK-Anlagen, die fossil befeuerte KWK-Anlagen ersetzen • Ausbau der Fern- und Nahwärmeversorgung, deutlicher Anstieg der Nah- und Fernwärmeproduktion • Ausbau der Windenergie und der Wasserkraft bis zur Ausschöpfung der Potenziale • Weiterer Ausbau der Nahwärmeversorgung auf Basis von Erd- und insbesondere Biogas
Industrie	**Reduktion (Mio. t)**	**2**	**10**
	Maßnahmen	• Rückgang der Nutzung von Braunkohle (-25%), Steinkohle (-5%) und Heizöl (-16%), Zuwachs bei Erdgas (+10%) und Biomasse (+10%) • Substitution von Steinkohle und Öl durch Biomasse bei der Prozessdampf- und – wärmeerzeugung	• Deutlicher Rückgang der Nutzung von Heizöl (-45%), Braunkohle (-25%) und Steinkohle (-10%), sehr starker Zuwachs bei Biomasse (+500%) • Substitution von Steinkohle und Öl durch Biomasse bei der Prozessdampf- und – wärmeerzeugung • Zusätzlicher Einsatz von Spar- und Superspartechniken in einigen Branchen (Investitionsgüter, Chemie, Zement, Kalk, Ziegel, Papier, Eisen/Stahl)
Haushalte	**Reduktion (Mio. t)**	**14**	**44**
	Maßnahmen	• Verbesserter Wärmeschutz innerhalb der Renovierungszyklen im Altbaubereich (Ein- und Mehrfamilienhäuser) mit einem Einsparungsvolumen von ca. 110 PJ/a • Brennstoffwechsel von Heizöl (-30%) zu Erdgas (+3%), sowie Fern- und Nahwärme (+15%), letzteres insbesondere in Neubauten • Gasbrennwertkessel ersetzen konventionellen Gas- und Ölzentralheizungen	• Massiv verstärkter Wärmeschutz innerhalb und auch außerhalb von Renovierungszyklen im Altbaubereich (Ein- und Mehrfamilienhäuser) mit einem Einsparungsvolumen von ca. 370 PJ/a • Verbesserter Wärmeschutz im Neubaubereich (Mehrfamilienhäuser) • Energieträgerwechsel von Heizöl (-65%) und Erdgas (-25%) zu Fern- und Nahwärme (+150%) • Verstärkter Einsatz von Gasbrennwertkesseln und Heizölbrennwertkesseln, wo keine Substitution durch Gas möglich ist
Kleinverbraucher/GHD	**Reduktion (Mio. t)**	**4**	**16**
	Maßnahmen	• Verbesserung des Wärmeschutzes im Bereich der Privaten Dienstleistungen (10% Einsparung) • Biomasse- und Biogasöfen ersetzen LPG-Öfen • Ölheizungen werden durch Fernwärmenutzung ersetzt	• Starke Verbesserung des Wärmeschutzes im Dienstleistungsbereich (20% Einsparung) • Verbesserung des Wärmeschutzes in den Bereichen Handwerk und Kleinindustrie (10% Einsparung), Land- und Forstwirtschaft (50% Einsparung) und Sonstige • Zubau elektrischer Wärmepumpen • Biomasse, Biogas und Erdgas verdrängen LPG beim Einsatz in Öfen fast vollständig • Substitution von Kohle und Öl im Heizungsbereich durch Fern- und Nahwärme (30% Zuwachs)

Fortsetzung Tabelle 4.4-2			
Verkehr	**Reduktion (Mio. t)** Maßnahmen	**0**	**7** • Einsatz von effizienten Fahrzeugtypen, insbesondere im Güterverkehr • Substitution fossiler Kraftstoffe durch Biokraftstoffe • diverse andere Detailmaßnahmen
CO_2-Reduktion über alle Sektoren (Mio. t)		**176**	**277**
Anmerkungen: Die Ermittlung der Emissionsminderung erfolgte auf Basis der Systematik der AG Energiebilanzen Abweichung zwischen Einzelwerten und Summe ergeben sich aufgrund von Rundungen			

Abbildung 4.4-3 enthält die zeitlichen Verläufe des spezifischen Raumwärmebedarfs für den Gebäudebereich der privaten Haushalte. Bei den dargestellten Werten handelt es sich um Durchschnittswerte für den gesamten Gebäudebereich (Alt- und Neubau, verschiedene Haustypen). Deutlich zu erkennen ist die signifikante Abweichung des Verlaufs im Reduktionsszenario II. In diesem Fall liegt der Wert für das Jahr 2030 um fast 30% niedriger als im Modell-Basis-Szenario. Dahinter stehen stringente Wärmedämmmaßnahmen, die im Altbaubereich auch außerhalb des Renovierungszyklus durchgeführt werden. Summiert man die CO_2-Einsparungen aller im Haushaltssektor durchgeführten Maßnahmen, errechnet sich ein Wert von etwa 45 Mio. t CO_2. Der Großteil davon ist auf den massiven Einsatz von Wärmedämmmaßnahmen zurückzuführen.

Abbildung 4.4-3 Spezifischer Raumwärmebedarf in den jeweiligen Szenarien



Primär- und Endenergieverbrauch in den Reduktionsszenarien

Im Reduktions-Szenario I fällt der Primärenergieverbrauch im Jahr 2030 um 15 % geringer aus als im Referenzszenario (Tabelle 4.4-3). Eine deutliche Verminderung ergibt sich auch im Vergleich zum Modell-Basis-Szenario. Sowohl gegenüber dem Modell-Basis-Szenario als auch im Vergleich zum Referenzszenario gewinnen Erdgas und erneuerbare Energien zunehmend an Bedeutung, während im Zeitlauf immer weniger Kohle verbraucht wird. Der Anteil von Erdgas an der Primärenergiebereitstellung steigt dabei gegenüber dem Jahr 2000 von 22 % auf 42 % und der Anteil erneuerbarer Energien von ca. 3 % auf 9 %. Der Zuwachs des Anteils erneuerbarer Energien resultiert hauptsächlich aus der Windenergieverstromung sowie aus einem verstärkten Biomasse- und Biogaseinsatz. Letztere werden zur Strom- wie zur Wärmeerzeugung genutzt.

Noch höher fällt der Anteil erneuerbarer Energien im Reduktions-Szenario II aus. In diesem Szenario werden im Jahr 2030 etwa 15 % des Primärenergiebedarfs durch den Einsatz erneuerbarer Energien gedeckt. Dabei liegt der Primärenergieverbrauch in diesem Szenario deutlich unter dem des weniger ambitionierten Reduktions-Szenarios I, was durch zusätzliche Effizienzsteigerungen zu begründen ist. Der zwar mit weniger spezifischen CO_2-Emissionen behaftete Erdgasverbrauch sinkt gegenüber dem ersten Reduktions-Szenario deutlich, damit die gesetzte CO_2-Zielmarke erreicht werden kann.

Während es beim Primärenergieverbrauch zu deutlichen strukturellen Veränderungen kommt, fallen die Veränderungen beim Endenergieverbrauch wesentlich geringer aus. So steigen bzw. sinken die Anteile der einzelnen Energieträger im Bereich des Endenergieverbrauchs i.d.R. weitaus schwächer als im Bereich des Primärenergieverbrauchs (siehe Tabelle 4.4-4). Der Einsatz von Gas steigt beispielsweise im Reduktions-Szenario I primärenergieseitig um 48 % gegenüber dem Modell-Basis-Szenario, während der Gaseinsatz im Bereich des Endenergieverbrauchs im Reduktions-Szenario I nur um 4 % über dem im Modell-Basis-Szenario liegt. Der Anteil erneuerbarer Energien nimmt zwar deutlich zu, im Bereich des Endenergieverbrauchs kommt ihnen jedoch auch im Reduktions-Szenario II nur eine untergeordnete Rolle zu. Eine deutliche Steigerung der Fern- und Nahwärmenutzung ist im Reduktions-Szenario II festzustellen. Wie bereits beim Primärenergieverbrauch, wird auch endenergieseitig im ambitionierteren Reduktions-Szenario II deutlich mehr Energie eingespart.

Tabelle 4.4-3 Primärenergieverbrauch nach Energieträgern in den Reduktionsszenarien

Angaben in PJ	hist. Werte*	Modellergebnisse			Abweichung gegenüber Referenzszenario			Abweichung gegenüber Modell-Basis-Szenario		
	2000	2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030
Reduktions-Szenario I										
Steinkohlen	2024	1533	1158	661	-9%	-38%	-68%	-10%	-39%	-66%
Braunkohlen	1581	1181	747	400	-20%	-49%	-72%	-16%	-47%	-70%
Mineralöle**	5446	5152	4932	4274	-1%	0%	-7%	-1%	-1%	-7%
Gase	3268	3195	3759	4464	-4%	9%	28%	8%	28%	47%
Kernenergie	1871	1617	693	0	-4%	-24%	0%	0%	0%	0%
Erneuerbare u. Sonstige	460	624	757	961	0%	5%	9%	0%	2%	8%
Summe	14650	13303	12047	10760	-7%	-12%	-15%	-1%	-5%	-9%
Reduktions-Szenario II										
Steinkohlen	2024	1090	618	521	-36%	-67%	-74%	-36%	-68%	-73%
Braunkohlen	1581	1172	531	400	-21%	-64%	-72%	-17%	-62%	-70%
Mineralöle**	5446	4864	4310	3691	-7%	-12%	-19%	-6%	-13%	-20%
Gase	3268	3580	4098	3900	8%	19%	12%	21%	40%	28%
Kernenergie	1871	1617	693	0	-4%	-24%	0%	0%	0%	0%
Erneuerbare u. Sonstige	460	625	826	1499	0%	14%	70%	0%	11%	69%
Summe	14650	12949	11077	10010	-9%	-19%	-21%	-4%	-13%	-15%

Anmerkungen: * temperaturbereinigt ** ohne Auslandsluftverkehr
Datenquellen: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 2002, Enquete-Kommission 2002, Berechnungen FZJ-STE

Tabelle 4.4-4 Endenergieverbrauch nach Energieträgern in den Reduktionsszenarien

Angaben in PJ	hist. Werte*	Modellergebnisse			Abweichung gegenüber Referenzszenario			Abweichung gegenüber Modell-Basis Szenario		
	2000	2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030
Reduktions-Szenario I										
Kohlen	527	456	367	313	8%	-7%	-13%	-2%	-5%	-7%
Mineralölprodukte**	4048	4140	3942	3351	6%	8%	0%	-1%	-1%	-8%
Gase	2619	2801	2728	2966	4%	-2%	6%	3%	1%	6%
Strom	1753	1821	1765	1712	-1%	-7%	-10%	0%	-1%	-2%
Fernwärme	384	363	385	382	6%	10%	10%	-9%	-2%	6%
Erneuerbare	205	171	171	179	-32%	-34%	-47%	0%	0%	5%
Summe	9536	9753	9357	8903	3%	0%	-2%	0%	-1%	-2%
Reduktions-Szenario II										
Kohlen	527	441	331	297	5%	-16%	-17%	-5%	-14%	-12%
Mineralölprodukte**	4048	3910	3412	2921	1%	-7%	-13%	-6%	-15%	-20%
Gase	2619	2883	2730	2544	7%	-2%	-9%	6%	1%	-9%
Strom	1753	1802	1724	1696	-2%	-9%	-11%	-1%	-4%	-3%
Fernwärme	384	367	429	502	7%	22%	44%	-8%	9%	39%
Erneuerbare	205	173	213	254	-31%	-18%	-16%	1%	24%	49%
Summe	9536	9577	8839	8216	2%	-5%	-9%	-2%	-6%	-9%

Anmerkungen: * temperaturbereinigt ** ohne Auslandsluftverkehr
Datenquellen: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 2002, Enquete-Kommission 2002, Berechnungen FZJ-STE

Aus Tabelle 4.4-5 ist die Entwicklung des Endenergieverbrauchs in den einzelnen Sektoren ersichtlich. Wie man der Tabelle entnehmen kann, ändert sich der Endenergieverbrauch der Industrie in den verschiedenen Reduktionsszenarien nur geringfügig. Einen hohen zusätzlichen Beitrag leisten dagegen die Haushalte. Deutlich verringert sich auch der Energieverbrauch des GHD-Sektors. Beide Entwicklungen sind hauptsächlich auf zusätzliche Wärmedämmung zurückzuführen. Im Reduktions-Szenario II wird der Energieverbrauch noch stärker vermindert, um die gesetzten Emissionsminderungsziele erreichen zu können.

Tabelle 4.4-5 Endenergieverbrauch nach Sektoren in den Reduktionsszenarien

Angaben in PJ	hist. Werte*	Modellergebnisse			Abweichung gegenüber Referenzszenario			Abweichung gegenüber Modell-Basis Szenario		
	2000	2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030
Reduktions-Szenario I										
Industrie	2459	2549	2445	2422	2%	-3%	-3%	1%	0%	0%
GHD	1610	1598	1522	1432	5%	1%	-6%	0%	0%	0%
Haushalt	2961	2806	2680	2543	-1%	-6%	-6%	-1%	-3%	-6%
Verkehr**	2506	2799	2710	2507	9%	10%	7%	0%	0%	0%
Summe	9536	9753	9357	8903	3%	0%	-2%	0%	-1%	-2%
Reduktions-Szenario II										
Industrie	2459	2543	2427	2392	1%	-3%	-4%	1%	-1%	-1%
GHD	1610	1567	1492	1307	3%	-1%	-14%	-2%	-2%	-9%
Haushalt	2961	2678	2266	2090	-6%	-21%	-23%	-5%	-18%	-22%
Verkehr**	2506	2790	2654	2426	9%	8%	4%	0%	-2%	-3%
Summe	9536	9577	8839	8216	2%	-5%	-9%	-2%	-6%	-9%

Anmerkungen: * temperaturbereinigt ** ohne Auslandsluftverkehr
Datenquellen: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 2002, Enquete-Kommission 2002, Berechnungen FZJ-STE

Stromverbrauch und –erzeugung in den Reduktionsszenarien

Der Stromverbrauch liegt in den Reduktionsszenarien im Jahre 2030 lediglich um rund 9 Mrd. kWh (1 %) bzw. 12 Mrd. kWh (2 %) niedriger als im Modell-Basis-Szenario. Hier ist allerdings darauf hinzuweisen, dass bereits schon im Modell-Basis-Szenario Strom eingespart wird. Deutlich ändert sich dagegen die Struktur der Stromerzeugung (siehe Tabelle 4.4-6). Die Steinkohlenverstromung nimmt in beiden Reduktionsszenarien sukzessive ab. Die Braunkohle wird ab dem Jahre 2020 nur noch in hocheffizienten Kraftwerken eingesetzt, deren Net-to-Nutzungsgrade im Durchschnitt (alte und neuere Kraftwerke) etwa 43 % betragen. In beiden Reduktionsszenarien ist der Anteil der Verstromung von Erdgas im Jahre 2030 mit 263 Mrd. kWh (etwa 53 % der gesamten Stromerzeugung) bzw. 235 Mrd. kWh (48 %) dominierend. Erdgaskraftwerke übernehmen in diesen Szenarien teilweise Grundlastaufgaben und werden bereits zu Beginn des Betrachtungszeitraums signifikant neu gebaut.

Tabelle 4.4-6 Netto-Stromerzeugung nach Energieträgern in den Reduktionsszenarien

Angaben in TWh	hist. Werte*	Modellergebnisse			Abweichung gegenüber Referenzszenario			Abweichung gegenüber Modell-Basis Szenario		
	2000	2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030
Reduktions-Szenario I										
Steinkohlen	135	110	80	25	-16%	-56%	-89%	-13%	-52%	-87%
Braunkohlen	138	115	81	44	-21%	-54%	-76%	-14%	-48%	-72%
Heizöl	4	5	0	0	25%	-100%	0%	4%	0%	0%
Erdgas	59	83	176	263	20%	196%	297%	44%	202%	339%
Kernenergie	163	141	61	0	-4%	-23%	0%	0%	0%	0%
Wasserkraft	26	19	19	19	-19%	-24%	-25%	-7%	-13%	-13%
Wind, PV	9	38	59	113	83%	115%	115%	0%	2%	22%
Sonstige	12	26	31	29	71%	54%	28%	7%	10%	10%
Summe	546	537	507	492	-4%	-11%	-13%	-2%	-8%	-9%
Reduktions-Szenario II										
Steinkohlen	135	64	25	14	-51%	-86%	-94%	-50%	-85%	-93%
Braunkohlen	138	115	59	31	-21%	-66%	-83%	-14%	-62%	-80%
Heizöl	4	1	0	0	-81%	-100%	0%	-84%	0%	0%
Erdgas	59	131	210	235	89%	253%	254%	128%	261%	291%
Kernenergie	163	141	61	0	-4%	-23%	0%	0%	0%	0%
Wasserkraft	26	19	25	26	-19%	1%	1%	-7%	15%	17%
Wind, PV	9	38	69	118	83%	150%	125%	0%	19%	28%
Sonstige	12	27	34	56	73%	67%	146%	8%	19%	112%
Summe	546	536	483	479	-4%	-15%	-16%	-2%	-12%	-12%

Anmerkung: * temperaturbereinigt
Datenquellen: Enquete-Kommission 2002, Berechnungen FZJ-STE

Regenerative Energieträger werden insbesondere im Reduktions-Szenario II ab dem Jahre 2020 forciert zur Stromerzeugung eingesetzt. Verglichen mit dem Modell-Basis-Szenario liegt die installierte Windkraftanlagenkapazität im Jahre 2030 im Reduktions-Szenario II um 9 GW höher und erreicht Absolutwerte von 44 GW (Tabelle 4.4-7). Die Stromproduktion beträgt etwa 118 TWh und besitzt damit einen Anteil von etwa 25% an der gesamten Stromerzeugung. Ein stärkerer Einsatz von regenerativen Energieträgern findet zusätzlich im Bereich der Nahwärmeerzeugung statt (im wesentlichen Biomasse).

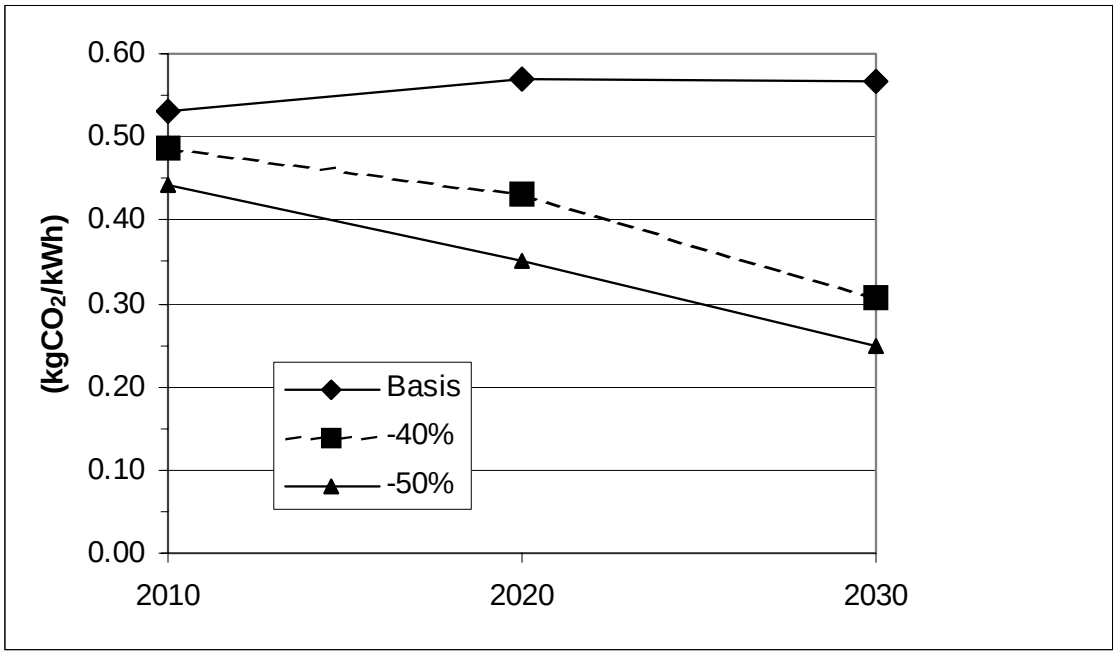
Ein Maß für die CO_2-Intensität der Stromerzeugung ist der spezifische Emissionsfaktor. Dieser enthält sowohl die Effizienzverbesserung der Stromerzeugung wie auch die Änderung des Energieträgereinsatzes (vgl. Abbildung 4.4-4). Während im Modell-Basis-Szenario der Faktor ab dem Jahr 2020 etwa das Niveau des Jahres 2000 erreicht, liegen die vergleichbaren Werte der Reduktionsszenarien deutlich niedriger und nehmen in der zeitlichen Entwicklung deutlich ab. Wie zuvor beschrieben, wird dies mit drastischen Maßnahmen erreicht.

Tabelle 4.4-7: Installierte Leistung (netto) des Kraftwerkparks nach Energieträgern in den Reduktionsszenarien

Angaben in GW	hist. Werte	Modellergebnisse			Abweichung gegenüber Referenzszenario			Abweichung gegenüber Modell-Basis Szenario		
	2000	2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030
Reduktions-Szenario I										
Steinkohlen	30	23	12	9	-5%	-61%	-75%	0%	-58%	-72%
Braunkohlen	20	16	13	12	-24%	-45%	-52%	-15%	-42%	-48%
Heizöl	7	5	1	1	71%	-67%	0%	0%	0%	0%
Erdgas	21	21	38	46	-8%	88%	122%	3%	47%	64%
Kernenergie	22	18	8	0	-7%	-25%	0%	0%	0%	0%
Wasserkraft	9	8	8	8	-22%	-22%	-22%	0%	0%	0%
Wind, PV	6	19	25	41	55%	64%	70%	0%	1%	17%
Sonstiges	4	3	3	3	-18%	-28%	-30%	-8%	4%	15%
Summe	120	114	108	120	-3%	-8%	0%	-3%	-11%	-6%
Reduktions-Szenario II										
Steinkohlen	30	23	12	9	-5%	-61%	-75%	0%	-58%	-72%
Braunkohlen	20	16	13	12	-24%	-44%	-52%	-15%	-42%	-47%
Heizöl	7	5	1	1	71%	-67%	0%	0%	0%	0%
Erdgas	21	26	34	43	13%	67%	108%	27%	31%	54%
Kernenergie	22	18	8	0	-7%	-25%	0%	0%	0%	0%
Wasserkraft	9	8	9	9	-22%	-12%	-11%	0%	13%	14%
Wind, PV	6	19	28	44	55%	80%	82%	0%	13%	26%
Sonstiges	4	3	5	9	-19%	10%	77%	-9	45%	192%
Summe	120	118	109	126	1%	-7%	5%	2%	-9%	-2%

Datenquellen: Enquete-Kommission 2002, Berechnungen FZJ-STE

Abbildung 4.4-4: Spezifische Emissionen für die Stromerzeugung in den Szenarien



In beiden Reduktionsszenarien nimmt die Nutzung der Windenergie deutlich zu. Im Reduktions-Szenario I ist darüber hinaus die zunehmende Erdgasverstromung bedeutsam. Im Reduktions-Szenario II erfolgen ein weiterer Ausbau der Windkraftkapazität sowie ein Ausbau der Wasserkraft. Der im Vergleich zum Reduktions-Szenario II deutlich geringere Erdgaseinsatz wird daneben durch den Einsatz von Biomasse in KWK-Anlagen kompensiert.

4.5 Kostenaspekte der Emissionsminderung

4.5.1 Vorbemerkungen

Wie bereits zu Beginn der Ausführungen beschrieben, wird zur Generierung der Szenarien ein Optimierungsmodell eingesetzt, mit dem das unter vorgegebenen Rahmenbedingungen gesamtwirtschaftlich kostenoptimale Energiesystem ermittelt wird. Ressourcenbeschränkungen, technikbedingte Restriktionen sowie energie- und wirtschaftpolitische Rahmenbedingungen u.ä. werden in dem Modell durch das Setzen von Begrenzungen (sogenannte „Bounds“) berücksichtigt. Den im Rahmen dieser Untersuchung erstellten Szenarien liegen eine Vielzahl von Vorgaben und Begrenzungen zugrunde, zu denen insbesondere Annahmen hinsichtlich des Einsatzes fossiler und erneuerbarer Energieträger sowie die Fortsetzung bereits ergriffener umweltpolitischer Maßnahmen zählen. Ein Lockern der Begrenzungen im Modell-Basis-Szenario hätte beispielweise einen etwas niedrigeren Braunkohleeinsatz zur Folge. Gleiches gilt für die Vorgaben hinsichtlich des Einsatzes erneuerbarer Energien. Ein Weglassen dieser Begrenzungen im Modell-Basis-Szenario würde zu einem deutlich geringeren Anteil erneuerbarer Energie führen. Eine generelle Lockerung der „Bounds“ bzw. ein Verzicht auf die Vorgabe von Begrenzungen erweitert den Lösungsraum des Modells. Dies führt bei einem nach Kosten optimierenden Modell generell zu niedrigeren Gesamtsystemkosten. Daher ist zu betonen, dass die im Folgenden dargestellten Kosten immer in Verbindung mit den gesetzten Rahmenbedingungen gesehen werden müssen.

Es ist zu beachten, dass es sich beim IKARUS-Mehrperiodenmodell nicht um ein Prognoseinstrument handelt. Es wurde vielmehr entwickelt, um mit Hilfe der Szenariotechnik die Auswirkungen von sozioökonomischen und technischen Entwicklungen auf das Energiesystem sowie volkswirtschaftlich optimale Handlungsstrategien für den Klimaschutz aufzeigen zu können. Aufgrund des unterstellten Optimierungskalküls ergeben sich insbesondere im Bereich der Kosten deutliche Unterschiede zu mit den Ergebnissen andere Studien. So steht z.B. bei der von PROGNOS für das BMWA durchgeführten Studie der prognostische Charakter

im Vordergrund (Prognos 2001). Im BMWA-Referenzszenario ergeben sich dabei um ca. 3 bis 5 % höhere CO_2-Emissionen als in dem zuvor beschriebenen Modell-Basis-Szenario. In dem 40 %-Reduktionsszenario des BMWA musste dementsprechend eine höhere Emissionsmenge eingespart werden als im vergleichbaren Reduktions-Szenario II. Darüber hinaus unterscheiden sich beide Szenarien recht deutlich bei den gesetzten Begrenzungen. Ein Vergleich ist daher kaum möglich.

4.5.2 Kosten der CO_2-Minderungen

Setzt man die Mehrkosten ins Verhältnis zur erreichten CO_2-Minderung, erhält man die durchschnittlichen Reduktions- oder Vermeidungskosten, die wiederum für jede Zeitperiode dargestellt werden können.[118] Tabelle 4.5-1 enthält die durchschnittlichen Reduktionskosten sowie die Grenzkosten (marginale Minderungskosten), die sich beim Vergleich der Reduktionsszenarien mit dem Modell-Basis-Szenario ergeben.

Tabelle 4.5-1 Durchschnittliche Kosten und Grenzkosten der CO_2-Minderung

	Einheit	2010	2020	2030
Reduktions-Szenario I (-40%)				
CO_2-Minderung	Mio. t	30	106	176
Durchschnittliche Vermeidungskosten	€/t CO_2	5	<1	6
Grenzkosten	€/t CO_2	16	10	32
Jährlich Mehrkosten	Mrd. €	0,17	0,00	1,00
Kumulierte Mehrkosten	Mrd. €	13		
Kumulierte CO_2-Minderung	Mrd. t CO_2	2,34		
Durchschnittliche Vermeidungskosten	€/t CO_2	5,4		
Reduktions-Szenario II (-50%)				
CO_2-Minderung	Mio. t	73	208	277
Durchschnittliche Vermeidungskosten	€/t CO_2	20	25	50
Grenzkosten	€/t CO_2	32	96	308
Jährlich Mehrkosten	Mrd. €	1,45	5,18	13,95
Kumulierte Mehrkosten	Mrd. €	154		
Kumulierte CO_2-Minderung	Mrd. t CO_2	4,37		
Durchschnittliche Vermeidungskosten	€/t CO_2	35,2		

Die durchschnittlichen Vermeidungskosten sowie die jährlichen Mehrkosten fallen im Reduktions-Szenario I im Vergleich zum Reduktions-Szenario II relativ gering aus. Dies ist insbesondere darauf zurückführen, dass im Reduktions-Szenario I die CO_2-Reduktion vorwiegend auf der massiven Substitution von Kohle durch Erdgas im Umwandlungsbereich beruht. Rela-

[118] Zur Kostenberechnung im IKARUS-Mehrperiodenmodell siehe auch Diekmann et al. (1998).

tiv kostengünstige und hocheffiziente GuD-Kraftwerke ersetzen im Reduktions-Szenario I Kohlekraftwerke, deren spezifische CO_2-Intensität sehr viel höher als die der erdgasbefeuerten Anlagen ist. Hierdurch können im wesentlichen die gesetzten Reduktionsziele des Szenarios I eingehalten werden. Dementsprechend niedrig liegen die spezifischen Vermeidungskosten im Reduktions-Szenario I. Allerdings kann hieraus nicht geschlossen werden, dass eine Reduktion von 40% bis zum Jahr 2030 mit nur relativ geringen Kosten zu bewerkstelligen ist. Vielmehr sollte bedacht werden, dass bereits im Modell-Basis-Szenario eine Vielzahl von Minderungsmaßnahmen implementiert sind, deren zeitliche Entwicklung und Auswirkungen bis zum Jahr 2030 extrapoliert und dem Modell quasi aufgezwungen wurden. Stellvertretend sei an dieser Stelle der vorgegebene Ausbau der Windkraftkapazität genannt. Vergleiche mit gerechneten Szenarien der vorherigen Politikszenarien-Vorhaben zeigen, dass es sich bei den vorgegebenen Minderungsmaßnahmen in der Regel nicht um die kostengünstigsten Möglichkeiten handelt. Die Vorgabe solcher Maßnahmen führt demzufolge dazu, dass die Gesamtsystemkosten bereits im Modell-Basis-Szenario relativ hoch sind.

Eine Verschärfung der CO_2-Reduktionsziele auf 50 % bis zum Jahr 2030 erfordert weitergehende Maßnahmen als im Reduktions-Szenario I: Ein Fuel-Switch von Kohle zu Erdgas reicht in diesem Fall nicht alleine aus. Dies führt zu dem Einsatz von Einsparmaßnahmen, um die Kohlenstoffintensität des Energiesystems drastisch zu verringern und letztendlich die stringenten Reduktionsziele einhalten zu können. Derartige Maßnahmen werden in allen Sektoren ergriffen, wie z.B. der nicht mit CO_2-Emissionen verbundene Biomasseeinsatz im Umwandlungssektor oder die verstärkte Umsetzung von Wärmedämmmaßnahmen im Gebäudebereich. Die durchschnittlichen Vermeidungskosten liegen am Ende des Betrachtungshorizontes etwa um den Faktor 8 über denen vom Reduktions-Szenario I. Die gesamten Mehrkosten steigen dabei auf ca. 154 Mrd. € an (Reduktions-Szenario I: ca. 13 Mrd. €). Die durchschnittlichen Minderungskosten betragen im Reduktions-Szenario II für das Jahr 2030 etwa 50 € je Tonne CO_2. Die Grenzkosten für das Jahr 2030 liegen mit ca. 310 € je Tonne CO_2 etwa sechsmal so hoch.

Tabelle 4.5-2 enthält die jährlichen Mehrkosten aufgeschlüsselt nach Sektoren. Bei der sektoralen Aufteilung werden den Endverbrauchssektoren die Investitions- und Betriebskosten (ohne Brennstoffkosten) der jeweiligen Techniken zugeordnet. Der Umwandlungssektor enthält vorgelagerte Prozesse, z.B. Kraft- und Heizwerke, Strom-, Gas- und Wärmenetze sowie die Raffinerien. Im Primärsektor werden die Gewinnungskosten der

einheimischen Energieträger und die Kosten der Energieimporte verbucht. Die jährlichen Mehrkosten werden jeweils als Differenz zwischen den Kosten in den Reduktionsszenarien und denjenigen im Modell-Basis-Szenario ermittelt (Tabelle 4.5-2). Sektoral ist die Verteilung der Reduktionskosten sehr unterschiedlich:

Für das Reduktions-Szenario I stellt sich für den Primärsektor bis zum Jahr 2030 eine Kostenerhöhung ein, die hauptsächlich auf den zunehmenden Erdgaseinsatz zurückzuführen ist, durch den Kohle und Erdöl substituiert wird. Der Rückgang der Mehrkosten im Reduktions-Szenario II erklärt sich durch die massiven Energieeinsparungen insbesondere in den Endenergiesektoren aber auch im Umwandlungssektor. Erst zum Ende des Betrachtungszeitraums steigen, u.a. bedingt durch den erhöhten Einsatz fester biogener Energieträger sowie den Ausbau des Fern- und Nahwärmenetzes, die Mehrkosten an. Die niedrigeren Investitions- und Betriebskosten für GuD-Kraftwerke bewirken einen Rückgang der Mehrkosten im Umwandlungssektor. Erst zum Ende des Betrachtungszeitraums steigen die Mehrkosten im Reduktions-Szenario II an, was z.B. durch den Bau von Biomasse-KWK-Anlagen und zusätzlicher Windkraftanlagen verursacht wird. Die jährlichen Mehrkosten im Sektor Haushalte erhöhen sich im Reduktions-Szenario II auf 7,0 Mrd. €, die hauptsächlich auf Wärmedämmmaßnahmen im Altbaubereich zurückzuführen sind. Mit einer Belastung von 2,2 Mrd. € folgt an zweiter Stelle der Primärsektor. Die Mehrkosten im GHD-Sektor liegen im Reduktions-Szenario II mit 1,6 Mrd. € höher als in den Sektoren Industrie und Verkehr.

Tabelle 4.5-2 Sektorale Mehrkosten pro Jahr in den Reduktionsszenarien gegenüber dem Modell-Basis-Szenario

(Mrd. $€_{2000}$/a)	Reduktions-Szenario I (-40%)			Reduktions-Szenario II (-50%)		
	2010	2020	2030	2010	2020	2030
Primärsektor	0,1	0,5	0,4	-0,3	-1,4	2,2
Umwandlung	-0,2	-1,6	-0,8	-0,2	-1,1	1,0
Industrie	0,1	0,5	0,5	0,2	0,7	1,1
Verkehr	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	1,1
Haushalte	0,2	0,6	0,9	1,4	5,7	7,0
GHD	0,0	0,0	0,0	0,3	0,4	1,6
Summe	0,2	0,0	1,0	1,5	5,2	14,0

An dieser Stelle soll noch einmal daran erinnert werden, dass die Abbildung des Verkehrssektors in einem gesamtwirtschaftlichen Optimierungsmodell mit einigen Problemen verbunden ist, weil bestimmte, vor allem auch verhaltensbedingte Reaktionsparameter (zu denen beispielsweise auch die Kaufentscheidung für kleinere Fahrzeuge statt für sparsamere

Fahrzeuge derselben Größenklasse zählen) ausgeklammert bleiben, so dass möglicherweise eine zu hohe Last von den anderen Sektoren getragen werden muss. Darüber hinaus führt die gegenüber anderen Techniken geringe Auslastung der Fahrzeuge zu hohen Vermeidungskosten.

Die für das Reduktions-Szenario II ermittelten jährlichen Mehrkosten im Jahre 2030 von rund 14 Mrd. € gegenüber dem Modell-Basis-Szenario entsprechen ca. 0,4 % des für 2030 unterstellten Bruttoinlandsproduktes (3189 Mrd. €).

4.6 Sensitivitätsanalysen

Im Folgenden wird anhand zusätzlicher Szenarien die Robustheit der dargestellten Modellergebnisse untersucht. Hierzu werden zentrale Parameter des IKARUS-Modells modifiziert und neue Rechenläufe durchgeführt. Die Ergebnisse werden mit den in den vorherigen Kapiteln dargestellten Modellläufen verglichen und der Einfluss der modifizierten Parameter analysiert. Die Szenarien, die im Rahmen der Sensitivitätsanalysen zusätzlich erstellt werden, sind in Tabelle 4.6-1 aufgelistet.

Tabelle 4.6-1 Sensitivitätsanalysen: Übersicht über die gerechneten Szenario-Varianten

Nr.	Name	Kurzbeschreibung
Varianten des Modell-Basis-Szenarios		
1	Variante „Weniger Wachstum“	Niedrigere Industrienachfrage
2	Variante „Weniger Verkehr“	Geringere Verkehrsnachfragen
3	Variante „Kohlebegrenzungen wie in den Reduktionsszenarien“	Weniger Kohleeinsatz
4	Variante „Geringerer Ausbau der Windenergie“	Moderater Ausbau bis 2010, danach stagnierend
Varianten des Reduktions-Szenarios I		
5	Variante „Weniger Verkehr“	Geringere Verkehrsnachfrage
6	Variante „Kohlebegrenzungen wie im Modell-Basis-Szenario“	Kohleförderung wie im Modell-Basis-Szenario

Als Ausgangspunkt für die Sensitivitäts-Szenarien 1 bis 4 dient das Modell-Basis-Szenario. Im ersten Szenario werden die Auswirkungen eines geringeren Wirtschaftswachstums im Zeitraum 2000 bis 2005 auf die Energienachfrage bzw. die Kohlendioxidemissionen untersucht. Hierzu werden die Wachstumsraten der Nettoproduktionswerte für den Zeitraum 2000 bis 2005 der einzelnen Industriebereiche jeweils um 0,5 Prozentpunkte gegenüber dem Modell-Basis-Szenario reduziert und in der weiteren Entwicklung bei gleichbleibender Branchenstruktur mit den gleichen Wachstumsraten wie im Modell-Basis-Szenario

fortgeschrieben. Die Industriennachfrage liegt im Jahr 2030 etwa 2,5% niedriger als im Modell-Basis-Szenario.

Von zentraler Bedeutung für die Kohlendioxidemissionen sowie die Energienachfrage ist die Entwicklung des Verkehrsaufkommens. Im zweiten Szenario (Modell-Basis-Szenario-Variante „Weniger Verkehr“) wird daher untersucht, welche Folgen eine Modifikation des Verkehrsaufkommens auf das Energiesystem hat. In Anlehnung an Hopf/Voigt (2002) wird in diesem Szenario unterstellt, dass das (motorisierte) Personenverkehrsaufkommen zum Ende des Betrachtungszeitraumes um ca. 8 % und das Güteraufkommen um 3 % geringer ausfällt als im Modell-Basis-Szenario. Zudem wird angenommen, dass eine stärkere Verlagerung des Personen- bzw. des Güterverkehrs von der Straße auf die Schiene stattfindet (siehe Hopf/Voigt 2002).

Die Auswirkungen von Modifikationen der unterstellten Braunkohlefördermengen bzw. von Begrenzungen, die den Einsatz von Steinkohle betreffen, stehen im Mittelpunkt der dritten Szenariovariante. Hierzu werden die im Modell-Basis-Szenario unterstellten Kohle-Begrenzungen deutlich gelockert.

In der vierten Variante des Modell-Basis-Szenarios wird angenommen, dass der Ausbau der Windkraft bis zum Jahr 2010 (Installierte Leistung: ca. 19 GW) identisch mit dem Modell-Basis-Szenario ist. Für den Zeitraum nach 2010 wird eine stagnierende Entwicklung angenommen. Durch diese Annahme lassen sich die Auswirkungen des Windkraftausbaus auf die Entwicklung des Einsatzes anderer Energieträger (insbesondere auf Erdgas) sowie die Kosten des Energiesystems im Modell-Basis-Szenario bzw. die Mehrkosten in den Reduktionsszenarien analysieren.

Bei den Szenarien 5 und 6 handelt es sich um Varianten des Reduktions-Szenarios I (2030: -40%). Dem Szenario „Nachhaltiger Verkehr“ liegen dabei die gleichen Annahmen hinsichtlich des Verkehrsaufkommens zugrunde wie der Modell-Basis-Szenario-Variante „Weniger Verkehr“. D.h. es wird angenommen, dass sich das Personenverkehrsaufkommen um ca. 8 % und das Güterverkehrsaufkommen um ca. 3 % gegenüber der Referenz-entwicklung verringert. Zusätzlich wird das 40%-Reduktionsziel vorgegeben.

In der zweiten Variante des Reduktions-Szenarios I wird unterstellt, dass auch im 40 %-Reduktionsszenario die energiepolitischen Begrenzungen hinsichtlich der Förderung bzw. des

Einsatzes von Kohlen eingehalten werden sollen wie im Modell-Basis-Szenario (vgl. Tabelle 4.2-8). Die Ergebnisse der Sensitivitätsrechnungen sind aus den folgenden Tabellen ersichtlich. Tabelle 4.6-2 zeigt die Entwicklung der CO_2-Emissionen in den einzelnen Varianten des Modell-Basis-Szenarios.

Tabelle 4.6-2 Entwicklung der CO_2-Emissionen in den Modell-Basis-Varianten

Angaben in Mio, t CO_2	hist, Werte*		Modellergebnisse			Abweichung gegenüber Modell-Basis Szenario		
	1990	2000	2010	2020	2030	2010	2020	2030
Modell-Basis-Szenario - Variante "Weniger Wachstum"								
Industrie	171	119	114	107	102	-1,5%	-1,9%	-2,0%
GHD, Haushalte	241	201	188	179	173	0,0%	0,0%	0,1%
Verkehr	158	178	196	190	175	0,0%	0,0%	0,0%
Umwandlung	443	365	311	338	331	-0,4%	0,2%	-0,1%
Summe	1014	863	810	813	781	-0,4%	-0,2%	-0,3%
Modell-Basis-Szenario - Variante "Weniger Verkehr"								
Industrie	171	119	116	108	104	-0,1%	-0,6%	0,2%
GHD, Haushalte	241	201	188	178	172	-0,1%	-0,6%	-0,4%
Verkehr	158	178	185	174	158	-5,9%	-8,6%	-9,8%
Umwandlung	443	365	311	336	330	-0,3%	-0,3%	-0,3%
Summe	1014	863	800	796	765	-1,6%	-2,3%	-2,4%
Modell-Basis-Szenario - Variante „Kohlebegrenzungen wie in den Reduktionsszenarien“								
Industrie	171	119	117	108	106	0,2%	-1,1%	2,2%
GHD, Haushalte	241	201	189	179	173	0,5%	0,1%	-0,1%
Verkehr	158	178	198	190	175	0,8%	0,0%	0,0%
Umwandlung	443	365	309	316	306	-1,0%	-6,4%	-7,8%
Summe	1014	863	813	792	760	0,0%	-2,8%	-3,0%
Modell-Basis-Szenario - Variante „Geringerer Ausbau der Windenergie“								
Industrie	171	119	117	110	105	0,2%	1,1%	1,6%
GHD, Haushalte	241	201	188	178	173	0,0%	-0,4%	-0,1%
Verkehr	158	178	196	190	175	0,0%	0,0%	0,0%
Umwandlung	443	365	312	345	351	0,0%	2,4%	5,9%
Summe	1014	863	813	823	805	0,0%	1,0%	2,7%

Anmerkung: * temperaturbereinigt; eigene Berechnung auf Basis der Systematik der AG Energiebilanzen

- Ergebnisse der Modell-Basis-Varianten

Vergleicht man das Modell-Basis-Szenario mit der Variante „Weniger Wachstum“ so wird deutlich, dass durch das geringere Wachstum der einzelnen Industriebranchen zwar die Kohlendioxidemissionen der Industrie niedriger ausfallen, die Emissionen in der Summe sich jedoch nur geringfügig verringern.

Sehr deutlich verändern sich hingegen die Emissionen in der Variante „Weniger Verkehr“. Hierbei liegen schon die für das Jahr 2010 berechneten Emissionen deutlich unter denen des Modell-Basis-Szenarios. Dies hat u.a. zur Folge, dass in der Szenario-Variante das Klimaschutzziel von –21% für 2008/2012 erreicht wird. Im Jahr 2030 beträgt die Differenz zum Modell-Basis-Szenario etwa 19 Mio. t CO_2. Verglichen mit der Variante des niedrigeren Industriewachstums, wirkt sich eine niedrigere Verkehrsnachfrage signifikanter aus.

Die Modifikation der Kohlebegrenzung hat kurzfristig nur geringe Auswirkungen auf die Entwicklung der Emissionen. Im Zeitablauf fallen bedingt durch den Bau von Erdgas- anstelle von Kohlekraftwerken jedoch die Emissionen im Umwandlungssektor bzw. die Emissionen insgesamt sehr deutlich: Im Jahr 2030 beträgt der Unterschied zwischen der Szenario-Variante und dem Modell-Basis-Szenario knapp 3% (24 Mio. t CO_2).

Gegenüber dem Modell-Basis-Szenario liegen die CO_2-Emissionen der Basis-Variante „Geringerer Ausbau der Windenergie“ ab dem Jahr 2010 höher. Windkraftanlagen werden durch Steinkohle- und Erdgaskraftwerke ersetzt, was zu einer Erhöhung der CO_2-Emissionen im Umwandlungssektor von etwa 21 Mio. t im Jahr 2030 führt. Durch das Herabsetzen der exogen vorgegebenen Windkraftleistung wird dem Modell ein größerer Optimierungsspielraum eingeräumt, der gegenüber dem Modell-Basis-Szenario zu niedrigeren Gesamtsystemkosten führt. Entsprechend höher fallen die Mehrkosten bzw. die durchschnittlichen CO_2-Vermeidungskosten aus, wenn ein Reduktionsszenario mit dieser veränderten Basisvariante verglichen wird (Tabelle 4.6-3)

Tabelle 4.6-3 Durchschnittliche Kosten der CO_2-Minderung: Vergleich des Reduktions-Szenarios I mit dem Modell-Basis-Szenario sowie mit der Modell-Basis-Variante „Geringerer Ausbau Windenergie“

	Einheit	2010	2020	2030
Reduktions-Szenario I versus. Modell-Basis-Szenario				
CO_2-Minderung	Mio. t	30	106	175
Durchschnittliche Vermeidungskosten	€/t CO_2	5	<1	6
Kumulierte Mehrkosten	Mrd. €	13		
Kumulierte CO_2-Minderung	Mrd. t CO_2	2,34		
Durchschnittliche Vermeidungskosten	€/t CO_2	5,4		
Reduktions-Szenario I versus Modell-Basis-Variante „Geringerer Ausbau der Windenergie“				
CO_2-Minderung	Mio. t	30	114	197
Durchschnittliche Vermeidungskosten	€/t CO_2	5,9	2,2	8,0
Kumulierte Mehrkosten	Mrd. €	19		
Kumulierte CO_2-Minderung	Mrd. t CO_2	2,52		
Durchschnittliche Vermeidungskosten	€/t CO_2	7,6		

Im Reduktionsszenario I wird die Windkraft über die gesetzte Begrenzung des Modell-Basis-Szenarios (35 GW) hinaus ausgebaut, um das Minderungsziel von 40% bis zum Jahr 2030 erreichen zu können. Sie stellt somit einen Teil einer kostenoptimalen Lösung dar; ein Vergleich mit dem modifizierten Basis-Szenario ist somit auch methodisch zulässig. Tabelle 4.6-3 enthält sowohl die Kosten des Reduktionsszenarios I im Vergleich mit der veränderten Basis-Variante als auch im Vergleich mit dem Modell-Basis-Szenario.

Tabelle 4.6-4 zeigt die Entwicklung des Primärenergieverbrauchs in den verschiedenen Modell-Basis-Varianten.

Tabelle 4.6-4 Entwicklung des Primärenergieverbrauchs in den Varianten des Modell-Basis-Szenarios

Angaben in PJ	Hist. Werte*	Modellergebnisse			Abweichung gegenüber Modell-Basis Szenario		
	2000	2010	2020	2030	2010	2020	2030
Modell-Basis-Szenario - Variante „Weniger Wachstum“							
Steinkohlen	2024	1683	1910	1931	-1,1%	-0,1%	-0,5%
Braunkohlen	1581	1403	1400	1340	0,0%	0,0%	-0,1%
Mineralöle	5446	5187	4972	4609	-0,1%	-0,1%	0,0%
Erdgas	3268	2929	2912	3021	-0,6%	-0,8%	-0,7%
Kernenergie	1871	1617	693	0	0,0%	0,0%	0,0%
Erneuerbare u. Sonstige	460	624	742	886	0,0%	0,0%	0,0%
Summe	14650	13445	12630	11786	-0,3%	-0,2%	-0,3%
Modell-Basis-Szenario - Variante „Weniger Verkehr“							
Steinkohlen	2024	1699	1909	1932	-0,2%	-0,1%	-0,4%
Braunkohlen	1581	1403	1400	1341	0,0%	0,0%	0,0%
Mineralöle	5446	5010	4720	4337	-3,5%	-5,2%	-5,9%
Erdgas	3268	2958	2934	3041	0,4%	-0,1%	0,0%
Kernenergie	1871	1617	693	0	0,0%	0,0%	0,0%
Erneuerbare u. Sonstige	460	624	742	886	0,0%	0,0%	0,0%
Summe	14650	13311	12399	11536	-1,3%	-2,1%	-2,4%
Modell-Basis-Szenario - Variante „Kohlebegrenzungen wie in den Reduktionsszenarien“							
Steinkohlen	2024	1707	1405	1423	0,3%	-26,5%	-26,6%
Braunkohlen	1581	1371	1479	1351	-2,3%	5,6%	0,7%
Mineralöle	5446	5217	4966	4616	0,5%	-0,2%	0,2%
Erdgas	3268	2967	3199	3423	0,7%	8,9%	12,5%
Kernenergie	1871	1617	693	0	0,0%	0,0%	0,0%
Erneuerbare u. Sonstige	460	624	762	896	0,0%	2,7%	1,2%
Summe	14650	13502	12506	11709	0,1%	-1,2%	-0,9%
Modell-Basis-Szenario - Variante „Geringerer Ausbau der Windenergie“							
Steinkohlen	2024	1702	2003	2017	0,0%	4,8%	4,0%
Braunkohlen	1581	1403	1400	1347	0,0%	0,0%	0,4%
Mineralöle	5446	5189	4975	4799	0,0%	0,0%	4,2%
Erdgas	3268	2952	2919	3163	0,1%	-0,6%	4,0%
Kernenergie	1871	1617	693	0	0,0%	0,0%	0,0%
Erneuerbare u. Sonstige	460	624	685	714	0,0%	-7,7%	-19,4%
Summe	14650	13488	12676	12041	0,0%	0,1%	1,9%

Anmerkung: * temperaturbereinigt, Berechnungen FZJ-STE

In der Szenario-Variante „Weniger Wachstum“ wird im Durchschnitt etwa 0,3 % weniger Energie verbraucht als im ursprünglichen Modell-Basis-Szenario. In den anderen Modell-Basis-Varianten fallen die Unterschiede (insbesondere in der letzten Periode) deutlich größer aus. Der Rückgang des Primärenergieverbrauchs in der Szenario-Variante „Weniger Verkehr“ resultiert dabei vorwiegend aus dem Rückgang der Nachfrage nach Mineralöl. Etwas mehr (Primär-)Energie wird im Szenario „Kohlebegrenzungen wie in den Reduktionsszenarien“ verbraucht. Mit ca. 11,7 EJ im Jahr 2030 liegt der Primärenergieverbrauch jedoch auch bei dieser Szenario-Variante unter dem Niveau des Modell-Basis-Szenarios. Der Rückgang des Energieverbrauchs resultiert hierbei vor allem aus dem stärkeren Einsatz hocheffizienter GuD-Kraftwerke, deren Brennstoffeinsatz verglichen mit Kohlekraftwerken deutlich geringer ist. Mehr Primärenergie als im Modell-Basis-Szenario wird in der Szenario-Variante „Geringerer Ausbau der Windenergie“ eingesetzt. Der Anstieg des Verbrauchs lässt sich hierbei auf die Substitution der definitionsgemäß mit einem hohen Wirkungsgrad bewerteten Windkraftanlagen (100%) durch Kohle- und Gaskraftwerke zurückführen.

Während sich die Struktur der Stromproduktionen in den Szenario-Varianten „Weniger Wachstum“ und „Weniger Verkehr“ nur unwesentlich gegenüber dem Modell-Basis-Szenario verändert, haben die Modifikationen der Begrenzungen für Kohle und Windenergie einen großen Einfluss auf die Stromerzeugung (Tabelle 4.6-5). In den beiden Szenario-Varianten „Kohlebegrenzungen wie in den Reduktionsszenarien“ und „Geringerer Ausbau der Windenergie“ steigt die Erdgasverstromung deutlich an.

In der Szenario-Variante „Kohlebegrenzungen wie in den Reduktionsszenarien“ produzieren die Erdgaswerke mehr als doppelt soviel Strom wie im Modell-Basis-Szenario, wobei überwiegend Steinkohlestrom substituiert wird. In der Variante „Geringerer Ausbau der Windenergie“ steigt hingegen neben der Erdgasverstromung auch die Produktion der Steinkohlekraftwerke, um Mittellaststrom zu substituieren.

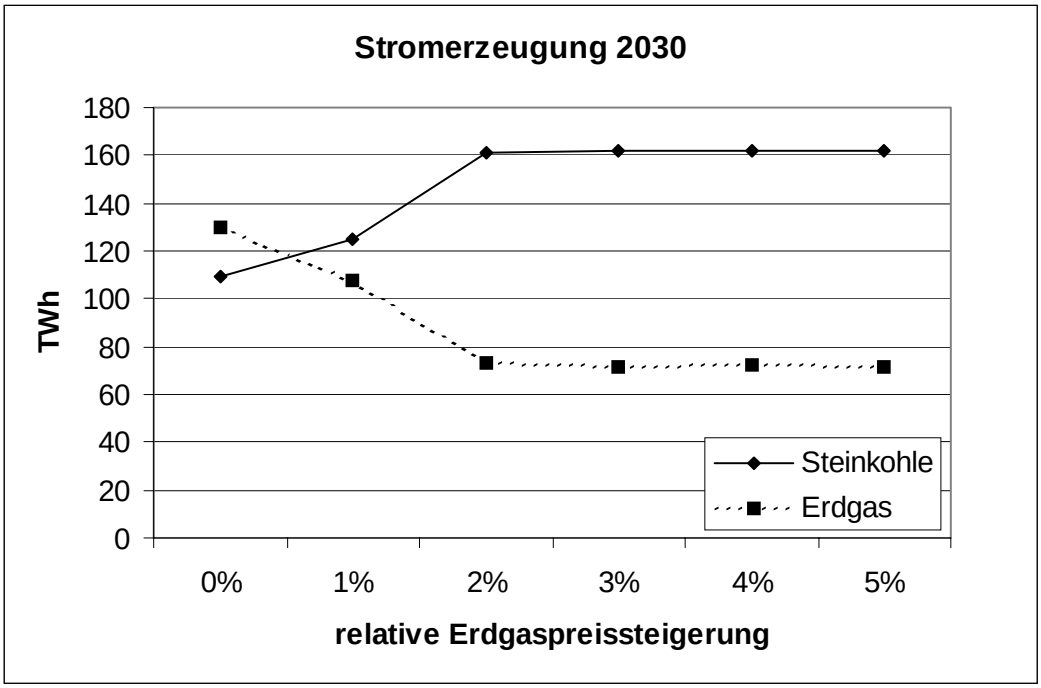
Aufsetzend auf die Variante „Kohlebegrenzungen wie in den Reduktionsszenarien“ des Modell-Basis-Szenarios wurde zusätzlich noch die Sensitivität des Optimierungsergebnisses auf Variationen des Importpreises für Erdgas untersucht. Hierbei standen die Auswirkungen auf die Stromerzeugung im Vordergrund. Der Preispfad im Zeitraum 2005 bis 2030 für den Erdgasimport A wurde hierbei schrittweise um jeweils ein Prozent gegenüber den in Tabelle 4.2-7 aufgeführten Preisen erhöht. Das Ergebnis dieser Variation ist für das Jahr 2030 in Abbildung 4.6-1 dargestellt.

Tabelle 4.6-5 Entwicklung der Netto-Stromproduktion in den Varianten des Modell-Basis-Szenarios

Angaben in TWh	Hist. Werte*	Modellergebnisse			Abweichung gegenüber Modell-Basis Szenario		
	2000	2010	2020	2030	2010	2020	2030
Modell-Basis-Szenario - Variante „Weniger Wachstum“							
Steinkohlen	135	126	168	182	-0,9%	0,0%	-1,8%
Braunkohlen	138	133	155	158	0,0%	0,0%	0,3%
Heizöl	4	4	0	0	-1,3%	0,0%	0,0%
Erdgas	59	57	58	63	-1,1%	0,2%	4,9%
Kernenergie	163	141	61	0	0,0%	0,0%	0,0%
Wasserkraft	26	20	22	22	-3,2%	0,0%	0,3%
Wind, PV	9	38	58	92	0,0%	0,0%	0,0%
Sonstiges	12	24	28	27	-0,9%	-1,1%	0,1%
Summe	546	544	549	543	-0,5%	0,0%	0,0%
Modell-Basis-Szenario - Variante „Weniger Verkehr“							
Steinkohlen	135	127	168	184	0,0%	-0,1%	-0,5%
Braunkohlen	138	133	155	157	0,0%	0,0%	0,0%
Heizöl	4	4	0	0	-7,4%	0,0%	0,0%
Erdgas	59	58	58	61	0,8%	0,1%	1,4%
Kernenergie	163	141	61	0	0,0%	0,0%	0,0%
Wasserkraft	26	21	22	22	2,6%	0,0%	0,0%
Wind, PV	9	38	58	92	0,0%	0,0%	0,0%
Sonstiges	12	25	28	27	0,7%	-0,9%	0,0%
Summe	546	547	549	543	0,1%	-0,1%	0,0%
Modell-Basis-Szenario – Variante „Kohlebegrenzungen wie in den Reduktionsszenarien“							
Steinkohlen	135	127	99	110	0,1%	-41,2%	-40,9%
Braunkohlen	138	132	170	159	-0,9%	9,5%	0,9%
Heizöl	4	4	0	0	-2,0%	0,0%	0,0%
Erdgas	59	58	105	130	-0,1%	80,9%	118,0%
Kernenergie	163	141	61	0	0,0%	0,0%	0,0%
Wasserkraft	26	21	22	22	3,5%	0,0%	0,3%
Wind, PV	9	38	58	92	0,0%	0,0%	0,0%
Sonstiges	12	25	29	28	0,3%	1,2%	5,7%
Summe	546	546	543	541	-0,1%	-1,2%	-0,4%
Modell-Basis-Szenario - Variante "Geringerer Ausbau der Windenergie"							
Steinkohlen	135	127	178	192	0,0%	5,9%	3,5%
Braunkohlen	138	133	155	157	0,0%	0,0%	0,0%
Heizöl	4	4	0	0	-1,5%	0,0%	0,0%
Erdgas	59	58	60	97	0,2%	3,9%	61,8%
Kernenergie	163	141	61	0	0,0%	0,0%	0,0%
Wasserkraft	26	20	22	22	-0,5%	0,0%	0,3%
Wind, PV	9	38	41	41	0,0%	-29,4%	-55,0%
Sonstiges	12	25	29	29	0,4%	2,6%	8,1%
Summe	546	546	546	538	0,0%	-0,7%	-0,9%

Anmerkung: * temperaturbereinigt, Berechnungen FZJ-STE

Abbildung 4.6-1 Stromproduktion in Abhängigkeit von den relativen Erdgaspreisen



Es zeigt sich, dass das Optimierungsergebnis sehr sensibel auf die Preiserhöhung reagiert: Bereits bei einer einprozentigen Erhöhung des Preispfades setzt ein deutlicher Trend zur verstärkten Steinkohleverstromung ein. Dieser stagniert annähernd bei einer Preiserhöhung von etwa zwei Prozent. Im Vergleich zum Modell-Basis-Szenario werden dabei etwa 50 TWh der Stromerzeugung von Gas- zu Steinkohlekraftwerken verlagert, was etwa 10% der gesamten Stromproduktion entspricht. Der Einsatz anderer Kraftwerkstypen ist von dieser Variation so gut wie nicht betroffen.

Damit bleibt festzuhalten, dass Erdgas und Steinkohle, die beide vorwiegend im Mittellastbereich zum Einsatz kommen, bei der Stromerzeugung sehr leicht substituierbar sind, da die Gestehungskosten sehr nahe zusammen liegen. Diese Aussage lässt sich noch dadurch untermauern, dass der gleiche Trend von Erdgas zu Kohle auch dann einsetzt, wenn die Diskontrate von 5% auf 4% abgesenkt wird. Hierdurch werden die investitionsintensiveren Steinkohlekraftwerke für das Modell attraktiver, da die Gestehungskosten auch auf diese Weise unter die von Erdgaskraftwerken gesenkt werden können. Die Ergebnisse verdeutlichen die hohe Sensitivität bei bereits sehr geringen Änderungen von Erdgaspreis oder der Diskontrate, deren Angaben naturgemäß mit erheblichen Unsicherheiten behaftet sind. Dies sollte bei der Ergebnisinterpretation stets bedacht werden.

- Ergebnisse der Reduktions-Szenario-Varianten

Die folgenden beiden Tabellen zeigen die Auswirkungen von Modifikationen des Verkehrsaufkommens sowie der Kohlebegrenzungen auf das Reduktions-Szenario I. Tabelle 4.6-6 zeigt hierbei die Entwicklung der Kohlendioxidemissionen in den beiden Varianten des Reduktionsszenarios.

Der Rückgang des Verkehrkaufkommens hat zur Folge, dass die Emissionen im Verkehrsbereich deutlich sinken. Durch den dadurch zusätzlich erzielten Reduktionsbeitrag müssen in anderen Bereichen weniger Emissionen eingespart werden. Dies hat zur Folge, dass sich die Anteile der einzelnen Bereiche an den Emissionen gegenüber dem Reduktions-Szenario I ändern und die Sektoren Haushalte und GHD deutlich entlastet werden.

Zu größeren Verschiebungen kommt es in der Variante „Kohlebegrenzungen wie im Modell-Basis-Szenario“: Die Verwendung der gleichen Kohle-Begrenzungen wie im Modell-Basis-Szenario führt zu einer starken Einschränkung der Reduktionspotenziale im Umwandlungsbereich. Hierdurch müssen die anderen Bereiche einen deutlich höheren Beitrag zur Emissionsminderung leisten. Davon betroffen sind insbesondere die Sektoren „GHD, Haushalte“ und „Verkehr“.

Tabelle 4.6-6 Entwicklung der Kohlendioxidemissionen in den Varianten des Reduktions-Szenarios I

Angaben in Mio. t CO_2	hist. Werte*		Modellergebnisse			Abweichung gegenüber Reduktions-Szenario I		
	1990	2000	2010	2020	2030	2010	2020	2030
Reduktions-Szenario I - Variante „Weniger Verkehr“								
Industrie	171	119	116	111	103	-1%	2%	0%
GHD, Haushalte	241	201	188	175	162	0%	1%	3%
Verkehr	158	178	185	174	158	-6%	-9%	-10%
Umwandlung	443	365	294	250	186	4%	5%	7%
Summe	1014	863	783	709	608	0%	0%	0%
Reduktions-Szenario I - Variante „Kohlebegrenzungen wie im Modell-Basis-Szenario“								
Industrie	171	119	116	102	95	-1%	-5%	-7%
GHD, Haushalte	241	201	180	129	95	-4%	-25%	-40%
Verkehr	158	178	196	186	154	0%	-2%	-12%
Umwandlung	443	365	291	292	264	3%	22%	52%
Summe	1014	863	783	709	607	0%	0%	0%

Anmerkung: * temperaturbereinigt, Berechnungen FZJ-STE auf Basis der Systematik der AG Energiebilanzen

Aus Tabelle 4.6-7 ist die Entwicklung des Primärenergieverbrauchs in den einzelnen Varianten des Reduktions-Szenarios I ersichtlich. Die Reduktion des Mineralölverbrauchs in der Variante „Weniger Verkehr“ und der dadurch verursachten Reduktion der Kohlendioxidemission hat zur Folge, dass die Emissionsziele leichter zu erreichen sind. Dies hat u.a. auch Auswirkungen auf den Einsatz von Kohle: Während im ursprünglichen Reduktions-Szenario I der Einsatz der Kohle sehr stark zurückgedrängt wurde, verläuft der Verdrängungseffekt in der Variante „Weniger Verkehr“ langsamer und weniger ausgeprägt.

Tabelle 4.6-7: Entwicklung des Primärenergieverbrauchs in den Varianten des Reduktions-Szenarios I

Angaben in PJ	hist. Werte*	Modellergebnisse			Abweichung gegenüber Reduktions-Szenario I		
	2000	2010	2020	2030	2010	2020	2030
Reduktions-Szenario I - Variante „Weniger Verkehr“							
Steinkohlen	2024	1717	1191	843	12%	3%	28%
Braunkohlen	1581	1182	856	400	0%	15%	0%
Mineralöle	5446	4989	4696	4144	-3%	-5%	-3%
Erdgas	3268	3090	3742	4307	-3%	0%	-4%
Kernenergie	1871	1617	693	0	0%	0%	0%
Erneuerbare u. Sonstige	460	624	748	951	0%	-1%	-1%
Summe	14650	13219	11926	10645	-1%	-1%	-1%
Reduktions-Szenario I - Variante „Kohlebegrenzungen wie im Modell-Basis-Szenario“							
Steinkohlen	2024	1528	1570	1564	0%	36%	137%
Braunkohlen	1581	1400	1400	1459	19%	87%	265%
Mineralöle	5446	5095	4320	3445	-1%	-12%	-19%
Erdgas	3268	2993	2917	2410	-6%	-22%	-46%
Kernenergie	1871	1617	693	0	0%	0%	0%
Erneuerbare u. Sonstige	460	624	847	1640	0%	12%	71%
Summe	14650	13257	11747	10517	0%	-2%	-2%

Anmerkung: * temperaturbereinigt, Berechnungen FZJ-STE

In der Variante „Kohlebegrenzungen wie im Modell-Basis-Szenario“ nimmt der Kohleverbrauch im Zeitablauf leicht zu. Um das Emissionsziel dennoch einhalten zu können, setzt das Modell verstärkt Einsparmaßnahmen ein, die zu einem Erdgas- sowie Mineralölverbrauch führen, der deutlich unter dem des Reduktions-Szenario I liegt. Gleiches gilt auch für den gesamten Primärenergieverbrauch, der deutlich niedriger als im Reduktions-Szenario I liegt. Darüber hinaus werden gegenüber dem Reduktions-Szenario I deutlich mehr erneuerbare Energien (vor allem Biomasse) eingesetzt. Um das Emissionsziel bei erhöhtem Kohleeinsatz

erfüllen zu können, werden bei der Stromerzeugung auch Kraftwerke eingesetzt, die mit CO_2-Abscheidungstechniken ausgestattet sind.

Im Vergleich zum Reduktions-Szenario I fallen die Kosten der CO_2-Reduktion deutlich höher aus, da durch die Vorgabe restriktiver Kohlebergrenzungen die kostengünstige Möglichkeit der Verminderung der Emissionen durch Brennstoffsubstitution im Kraftwerksbereich stark eingeschränkt wird (Tabelle 4.6-8).

Tabelle 4.6-8 Durchschnittliche Kosten und Grenzkosten der CO_2-Minderung: Vergleich Modell-Basis- Szenario mit Reduktions-Szenario I Variante „Kohlebegrenzungen wie im Modell-Basis-Szenario“

	Einheit	2010	2020	2030
Reduktions-Szenario I				
CO_2-Minderung	Mio. t	-30	-106	-176
Durchschnittliche Vermeidungskosten	€/t CO_2	27,3	66,3	139,7
Grenzkosten	€/t CO_2	16,0	132,9	388,2
Kumulierte Mehrkosten	Mrd. €	194		
Kumulierte CO_2-Minderung	Mrd. t CO_2	2,33		
Durchschnittliche Vermeidungskosten	€/t CO_2	83,4		

- Schlussfolgerungen

Die Sensitivitätsanalysen vergegenwärtigen noch einmal deutlich, dass die Ergebnisse des Modell-Basis-Szenarios sowie der beiden Reduktionsszenarien immer nur vor dem Hintergrund der getroffenen Rahmenannahmen bzw. der energiepolitischen Restriktionen interpretiert werden dürfen. Die Ergebnisse zeigen, dass durch eine Änderung des energiepolitischen Rahmens (z.B. Rolle der Kohle) der Fokus auf das Spektrum der zu ergreifenden Maßnahmen mitunter geändert werden muss. Dies hat gegebenenfalls auch starke Auswirkungen auf die Minderungskosten, um die gesetzten Minderungsziele einhalten zu können. So schwanken die durchschnittlichen CO_2-Minderungskosten im Rahmen der hier durchgeführten Szenarien in einer erheblichen Bandbreite. Darüber hinaus zeigt sich, dass die gesetzten Nachfragen und hier insbesondere die Verkehrsnachfrage eine beachtliche Auswirkung auf die CO_2-Emissionen insgesamt besitzt. Die Szenarienergebnisse sind daher auch insbesondere in diesem Lichte zu interpretieren.

Bei dem Modell-Basis-Szenario handelt es um ein „Mit-Maßnahmen-Szenario“, da die bereits implementierten Maßnahmen (z.B. Windkraft etc.) exogen vorgegebenen werden. Sie sind nicht Ergebnis der Optimierungsrechnungen, führen aber bereits zu relativ hohen Systemkos-

ten des Modell-Basis-Szenarios, wie mit Hilfe der Sensitivitätsrechnungen gezeigt werden kann. Vergleicht man die Kosten der Reduktionsszenarien mit dem hohen Kostenniveau des Modell-Basis-Szenarios, errechnen sich demzufolge relativ geringe Minderungskosten. Dieser Effekt sollte bei der Interpretation der Minderungskosten stets bedacht werden.

Ein weiterer Punkt, den es zu beachten gilt, betrifft die Robustheit der Ergebnisse insbesondere im Fall des Basis-Szenarios. Wie die Sensitivitätsanalysen zu den Energiepreisvarianten zeigen, ist dieser Aspekt bei der Ergebnisinterpretation stets zu beachten.

4.7 Anhang: Vergleich der Modelldaten mit den Angaben der Energie- und Emissionsstatistik

Wie an anderer Stelle bereits angemerkt, ist ein unmittelbarer Vergleich der vom Modell für das Jahr 2000 errechneten Bilanzen mit den Angaben der Energiestatistiken und Emissionsbilanzen nur bedingt möglich. Eine Ursache hierfür liegt darin, dass in dem Modell von „Normaljahren“ ausgegangen wird, d.h. es wird nicht zwischen kalten und warmen Jahren unterschieden. Entsprechend müssen, um eine Vergleichbarkeit mit den Modellwerten zu ermöglichen, die historischen Werte der Energiestatistiken bzw. Emissionsbilanzen in temperatur- und vorratsbereinigte Werte umgerechnet werden. Ein weiterer Grund für Abweichungen sind unterschiedliche sektorale Abgrenzungsdifferenzen (siehe Ziesing et al. 1999). Weiterhin muss betont werden, dass die Angaben der Energiestatistiken und Emissionsbilanzen auf Verbrauchsstatistiken basieren, während die im Modell ausgewiesenen Bilanzen auf einen technikbasierten Bottom-up-Ansatz beruhen. Darüber hinaus ist zu sehen, dass das Jahr 2000 mit einem Modell eingestellt wurde, dem eine kostenoptimale Zielfunktion zugrunde liegt. Zwar wurde der Optimierungsspielraum des Modells für das Jahr 2000 sehr eingeengt, allerdings können durch den verbleibenden Optimierungsspielraum Abweichungen zu den Energie- und Emissionsstatistiken begründet sein.

Auch die Enquete-Referenzentwicklung sowie das Einstellen der historischen Werte wurden im Rahmen der Enquete-Arbeiten in gleicher Weise mit einem Modell (TIMES) gleicher Optimierungsphilosophie vorgenommen. Allerdings ist ein Vergleich von Modellwerten und historischen Werten für das Jahr 2000 nicht möglich, da die Enquete-Modellwerte für das Jahr 2000 nicht angegeben werden. Verglichen wird in den Enquete-Berichten lediglich der nicht-temperaturbereinigte Energieverbrauch bzw. die Emissionen des Jahres 2000 mit den temperaturbereinigten TIMES-Modellwerten. Ein solcher Vergleich ist demzufolge nur

bedingt aussagekräftig, da die durch die Temperaturbereinigung bedingten Unterschiede in dem Differenzbetrag noch enthalten sind. In den vorherigen Kapiteln wird daher mit den temperaturbereinigten historischen Werten verglichen. Dennoch zeigen die Entwicklungen vom Jahr 2000 bis zum Jahr 2010 erhebliche Veränderungen. Hierbei ist zu sehen, dass dies nicht zwingend auf den eigentlichen Effekt der Optimierung sondern mitunter auf Unterschiede zwischen den Modellwerten des Jahres 2000 und den Werten der Energiestatistiken und Emissionsbilanz zurückzuführen sind.

Über die Höhe der Differenzen zwischen IKARUS-Modellwerten und den temperaturbereinigten historischen Werten des Jahres 2000 geben die im Nachfolgenden aufgelisteten Tabellen 1 bis 6 Aufschluss. Für den Primärenergieverbrauch beträgt die Abweichung in der Summe etwa 2 Prozentpunkte. Größere Abweichungen bestehen bei der Rubrik Erneuerbare u. Sonstige. Die Unterschiede sind hauptsächlich auf den Biomasseeinsatz im Haushaltssektor zurückzuführen. Die Differenz bei der Kernenergienutzung ist auf die unterschiedliche Ausnutzung von Kernkraftwerken zurückzuführen, die im IKARUS-Modell Ergebnis des Optimierungsprozesses ist. Auch beim Endenergieverbrauch ist ein etwa um 2 Prozent niedrigerer Wert gegenüber den historischen Daten festzustellen.

Tabelle 1 Differenzen der Daten zum Primärenergieverbrauch nach dem IKARUS-Modell und nach den Energiebilanzen für das Jahr 2000

Angaben in PJ	**Historische Werte** (temperatur-bereinigt)	**IKARUS-Modell**	
Steinkohle	2024	2008	(-1%)
Braunkohle	1581	1552	(-2%)
Mineralöle*	5446	5397	(-1%)
Gase	3268	3204	(-2%)
Kernenergie	1871	1800	(-4%)
Erneuerbare u. Sonstige	460	399	(-13%)
Summe	14650	14360	(-2%)

Anmerkungen: * ohne Auslandsluftverkehr
Datenquellen: AG Energiebilanzen, Eigene Rechnungen

Tabelle 2 **Differenzen der Daten zum Endenergieverbrauch (nach Sektoren) nach dem IKARUS-Modell und nach den Energiebilanzen für das Jahr 2000**

Angaben in PJ	Historische Werte (temperatur-bereinigt)	IKARUS-Modell	
Industrie	2459	2549	(+4%)
GHD	1610	1601	(-1%)
Haushalt	2961	2853	(-4%)
Verkehr*	2506	2589	(+3%)
Summe	9536	9593	(+1%)

Anmerkungen: * ohne Auslandsluftverkehr
Datenquellen: AG Energiebilanzen, Eigene Rechnungen

Tabelle 3 **Differenzen der Daten zum Endenergieverbrauch (nach Energieträgern) nach dem IKARUS-Modell und nach den Energiebilanzen für das Jahr 2000**

Angaben in PJ	Historische Werte (temperatur-bereinigt)	IKARUS-Modell	
Kohle	527	572	(+9%)
Mineralöl-produkte *	4287	4173	(-3%)
Gase	2619	2580	(-1%)
Strom	1753	1738	(-1%)
Fernwärme	384	366	(-5%)
Sonstige	205	163	(-21%)
Summe	9775	9593	(-2%)

Anmerkungen: * ohne Auslandsluftverkehr
Datenquellen: AG Energiebilanzen, Eigene Rechnungen

Tabelle 4 enthält den Stromverbrauch nach Sektoren für das Jahr 2000. Als größter relativer Unterschied ist die Differenz im Verkehrssektor festzustellen. Dieser ist durch unterschiedliche Abgrenzungen zu begründen, da im IKARUS-Modell für den Verkehrssektor lediglich die mobilitätsbedingten Energieverbrauchsmengen erfasst werden. Andere Stromnutzungen (z.B. Beleuchtung von Bahnhöfen etc.) werden im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen erfasst. Dennoch liegt der vom Modell errechnete Stromverbrauch dieses Sektors niedriger als in den offiziellen Statistiken. Angesichts der Heterogenität und der dadurch bedingten Unsicherheit sind diese marginalen Differenzen jedoch akzeptabel.

Tabelle 4 **Differenzen der Daten zum sektoralen Stromverbrauch nach dem IKARUS-Modell und nach den Energiebilanzen für das Jahr 2000**

Angaben in TWh	Historische Werte (temperatur-bereinigt)	IKARUS-Modell	
Industrie	209	205	(-2%)
GHD	129	127	(-2%)
Haushalt	133	137	(+3%)
Verkehr**	16	14	(-10%)
Summe	487	483	(-1%)

Anmerkungen: * ohne Auslandsluftverkehr
Datenquellen: AG Energiebilanzen, Eigene Rechnungen

Tabelle 5 enthält die Stromerzeugung aufgeschlüsselt nach Energieträgern. Unterschiede sind im Wesentlichen auf unterschiedliche Auslastungen der Kraftwerke zurückzuführen, die im IKARUS-Modell Bestandteil der Optimierungsrechnung sind. Große Unterschiede bestehen bei der Wasserkraftnutzung. Allerdings ist der historische Ausgangswert nicht saisonal bereinigt. Der vergleichbare Wert lag nach Angaben des VDEW im Jahr 2000 bei 21,7 TWh. Der niedrigere Modell-Stromverbrauch spiegelt sich auch bei der Erzeugung, die etwa um 2% niedriger liegt, als in den Statistiken ausgewiesen.

Tabelle 5 **Differenzen der Daten zur Stromerzeugung nach dem IKARUS-Modell und nach den Energiebilanzen für das Jahr 2000**

Angaben in TWh	Historische Werte (temperatur-bereinigt)	IKARUS-Modell	
Steinkohle	135	133	(-2%)
Braunkohle	138	137	(-0%)
Heizöl	4	2	(-53%)
Erdgas	59	64	(+8%)
Kernenergie	163	157	(-4%)
Wasser*	26	22	(-15%)
Wind, PV	9	9	(-1%)
Sonstiges	12	9	(-23%)
Summe	546	534	(-2%)

Anmerkungen: * ohne Auslandsluftverkehr
Datenquellen: AG Energiebilanzen, Eigene Rechnungen

Bedingt durch die zuvor geschilderten Differenzen stellen sich auch für die CO_2-Emissionen entsprechende Unterschiede ein. So liegen die Gesamtemissionen für das Jahr 2000 in der Summe mit etwa 11 Mio. t niedriger als in den offiziellen Emissionsstatistiken. Gründe hier-

für sind der etwas niedrigere Primärenergieverbrauch sowie Verschiebungen in der Energieträgerstruktur.

Tabelle 6 Differenzen der Daten zu CO_2-Emissionen nach dem IKARUS-Modell und nach den Energiebilanzen für das Jahr 2000

Mio. t	Historische Werte (temperaturbereinigt)	IKARUS-Modell	
Industrie	141	147	(+4%)
GHD	59	63	(+7%)
Haushalt	133	131	(-2%)
Verkehr*	188	188	(0%)
Umwandlung	342	323	(-5%)
Summe	863	852	(-1%)
Industrie	119	126	(+6%)
GHD	65	67	(+3%)
Haushalt	136	133	(-2%)
Verkehr*	178	183	(+3%)
Umwandlung	365	344	(-6%)
Summe	863	852	(-1%)

Anmerkungen: * ohne Auslandsluftverkehr
Datenquellen: AG Energiebilanzen, Eigene Rechnungen

Literatur zu Kapitel 4

Enquete (2002), Enquete-Kommission "Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und Liberalisierung ": Endbericht. Deutscher Bundestag. Bundestags-Drucksache 14/9400. Berlin, 2002.

IEA (2002), International Energy Agency: World Energy Outlook 2002, Paris 2002

Hopf, R. und U. Voigt (2002), Nachhaltige Verkehrsentwicklung erfordert verstärktes Handeln, Wochenbericht des DIW, Nr. 47, S.820-829.

Horn, M. (2002), Entwicklung der Importpreise für fossile Energieträger bis zum Jahr 2030, IKARUS-Bericht Nr. 3-10, Forschungszentrum Jülich 2002

Prognos (2001), Energiepolitische und gesamtwirtschaftliche Bewertung eines 40 % Reduktionsszenarios, Gutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, BMWi-Dokumentation, 492, Bonn 2001.

Prognos/EWI (1999), Die längerfristige Entwicklung der Energiemärkte im Zeichen von Wettbewerb und Umwelt, Untersuchung im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, Basel, 1999.

Diekmann, J. et al. (1998), Politikszenarien für den Klimaschutz. Untersuchungen im Auftrag des Umweltbundesamtes, Stein, G., Strobel, B. (Hrsg.), Band 3: Methodik-Leitfaden für die Wirkungsabschätzung von Maßnahmen zur Emissionsminderung, Studie von DIW, FhG-ISI, Forschungszentrum Jülich, Öko-Institut. Schriften des Forschungszentrums Jülich. Reihe Umwelt. Jülich 1998.

Umweltbundesamt (UBA) (2003): Emissionen nach Emittentengruppen in Deutschland 1990 bis 2000, http://www.umweltdaten.de/luft/ed-2000.pdf.

Ziesing, H.-J. et al. (1999), Politikszenarien für den Klimaschutz. Untersuchungen im Auftrag des Umweltbundesamtes, Stein, G., Strobel, B. (Hrsg.), Band 5: Szenarien und Maßnahmen von CO_2-Emissionen in Deutschland bis 2020, Studie von DIW, FhG-ISI, Forschungszentrum Jülich, Öko-Institut. Schriften des Forschungszentrums Jülich. Reihe Umwelt. Jülich 1999.

5 Sektorale Emissionsentwicklungen und politische Maßnahmen zur Umsetzung der CO_2-Reduktionsszenarien

5.1 **Vorbemerkungen** (DIW Berlin)

Nachdem im Kapitel 3 die emissionsseitigen Wirkungen der klimaschutzpolitischen Maßnahmen, die die Bundesregierung seit 1998 ergriffen hat, geschätzt wurden und auf dieser Grundlage ein „Mit-Maßnahmen-Szenario“ für das Jahr 2010 entwickelt werden konnte, sind im vorstehenden Kapitel 4 die Annahmen und Ergebnisse der mit Hilfe des IKARUS-Modells entwickelten Szenarien beschrieben worden. Dabei wurden einem Modell-Basis-Szenario zwei Reduktionsszenarien gegenüber gestellt, für die das Ziel vorgegeben wurde, die CO2-Emissionen bis zum Jahr 2030 im Vergleich zu 1990 um 40 % (Reduktions-Szenario I) bzw. um 50 % (Reduktions-Szenario II) zu senken.

Diese Szenarien erlauben unter Berücksichtigung der jeweils vorgegebenen „bounds“ und Restriktionen Aussagen über die - gemessen an volkswirtschaftlichen Kriterien - kostenoptimale Entwicklung und Struktur der Energieversorgung in den kommenden drei Jahrzehnten. Sie zeigen außerdem, in welchen Sektoren - wiederum unter Kostenaspekten - die günstigsten technischen Lösungsmöglichkeiten und Handlungsfelder zur Verwirklichung der jeweiligen Zielvorgaben hinsichtlich des künftigen Niveaus der CO_2-Emissionen bestehen.

Allerdings enthalten diese primär technisch orientierten Reduktionsszenarien noch keine Aussagen über deren Realisierung und die dazu notwendigen politischen Umsetzungsmaßnahmen, zumal sie weder einzelwirtschaftliche Entscheidungskriterien, Hemmnisse gegenüber (selbst einzelwirtschaftlich rentablen) Maßnahmen zur rationellen Energieverwendung sowie andere Marktunvollkommenheiten u.ä. nicht berücksichtigen konnten.

Im Hinblick auf die Umsetzung der in den beiden Reduktionsszenarien beschriebenen Pfade bedarf es also zusätzlicher Überlegungen zum Einsatz von dafür geeigneten energie- und umweltpolitischen Instrumenten, um die aufgezeigten technischen Lösungen verwirklichen zu können.

Dieser Aufgabe widmen sich die folgenden Kapitel. Dabei wird - wie in Kapitel 3 – der sektoralen Gliederung entsprechend der Energiebilanzsystematik gefolgt.

5.2 **Industrie** (Fraunhofer ISI)

Mit einem Anteil von rund einem Viertel am Endenergieverbrauch in Deutschland im Jahr 2001 (AGEB 2002) ist der Industriesektor ein wichtiger Handlungsbereich in der Klimapolitik. Vom Kohle-, Öl- und Gasverbrauch, dessen CO_2–Emissionen direkt der Industrie zugerechnet werden, entfiel der weitaus größte Teil auf den Prozesswärmebedarf (Tabelle 5.2-1). Beim Strom dominiert der Bedarf für mechanische Energie (Elektromotoren u.ä.), gefolgt von der Prozesswärme. Die Fernwärme ist in der Industrie von untergeordneter Bedeutung.

Tabelle 5.2-1 Struktur des Endenergieverbrauch in der Industrie nach Anwendungszwecken 2001

Anwendungs-zweck	Kohle, Mineralöle, Gase	Fernwärme	Strom	Endenergie insgesamt
Prozesswärme	86,6 %	50 %	25,7 %	66,4 %
Raumwärme	12,5 %	50 %	0,4 %	9,7 %
Mech. Energie	1,0 %	0 %	64,6 %	21,0 %
Beleuchtung	0,0 %	0 %	5,1 %	1,6 %
IuK	0,0 %	0 %	4,3 %	1,3 %
Summe	100 % **(1573 PJ)**	100 % **(64 PJ)**	100 % **(753 PJ)** **(209 TWh)**	100 % **(2391 PJ)**

Quelle: Geiger/Wittke 2003

Im Folgenden werden die verschiedenen Szenarien, die im Rahmen dieser Untersuchung für den Industriesektor gerechnet wurden, diskutiert sowie politische Maßnahmen zur Realisierung der in den Reduktionsszenarien errechneten Einsparpotenziale abgeleitet. Die Darstellung erfolgt dabei getrennt für die aus dem Kohle-, Öl- und Gasverbrauch resultierenden direkten CO_2-Emissionen, die in den Szenarien direkt dem Industriesektor zugerechnet werden sowie für den industriellen Strombedarf, der CO_2–seitig im Energiesektor bilanziert wird.

5.2.1 Referenz-Szenario und Modell-Basis-Szenario für den Sektor Industrie

Das Modell-Basis-Szenario des IKARUS-Optimierungsmodells[119] ist das Ergebnis von Optimierungsläufen, bei denen Hemmnisse, auch solcher rationeller Energieanwendung wie beispielsweise Kenntnismängel oder Kapitelknappheit, nicht von vornherein berücksichtigt wer-

[119] Gleiches gilt natürlich auch für die beiden Reduktionsszenarien.

den, sondern nur teilweise in Form von Bounds simuliert werden. Die IKARUS-Ergebnisse sind deshalb nicht unbedingt als möglichst realitätsnahe Prognose der künftigen Entwicklung zu sehen. Sie zeigen eher auf, welche Maßnahmen unter energie- und klimapolitischen Strategien unter dem gegebenen Kriterium der gesamtwirtschaftlichen Kosteneffizienz ergriffen werden sollten. Auch das Referenzszenario der Enquête-Kommission basiert auf den Berechnungen eines Optimierungsmodells mit einem dem IKARUS-Modell vergleichbaren methodischen Vorgehen. Daher treffen die vorstehenden Erläuterungen sowie die folgende Diskussion mehr oder weniger auch auf das Referenzszenario zu.

Im Falle der Industrie sind die Ergebnisse des Modell-Basis-Szenarios weiterhin unter verschiedenen Aspekten zu diskutieren. Als ökonomisches Entscheidungskriterium wird der Barwert über die Nutzungsdauer zu Grunde gelegt; d. h, das Modell beinhaltet eine volkswirtschaftliche Betrachtungsweise mit eher längeren Amortisationszeiten energietechnischer Anlagen. Dies spiegelt nicht immer das betriebswirtschaftliche Kalkül der Industriebetriebe wider, bei dem die Amortisationsdauer häufig eine ausschlaggebende Rolle spielt und in der Regel nur Projekte mit einer sehr kurzen Amortisationsdauer von 2 bis 4 Jahren realisiert werden. Auch aus diesem Grunde „überschätzt“ das IKARUS-Modell bereits im Modell-Basis-Szenario die Anzahl an realisierten Maßnahmen zur rationellen Energienutzung in der Industrie. Zudem ist zu beachten, dass auf Grund der gesamtwirtschaftlichen Sichtweise des Modells auch keine Steuern oder Subventionen beachtet werden und ein gegenüber betriebswirtschaftlichen Ansätzen vergleichsweise niedriger Zinssatz gewählt wurde.

Diesen Effekten der „Überschätzung“ der autonomen Entwicklung steht allerdings gegenüber, dass die in das IKARUS-Modell eingehenden Maßnahmen zur rationellen Energienutzung im Industriesektor eher konservativ geschätzt, d. h. nur realistische Potenziale einbezogen wurden.

Tabelle 5.2-2 zeigt den Energieverbrauch nach Energieträgern und CO_2–Emissionen im (modifizierten) Referenz- und Modell-Basis-Szenario. Die leicht abweichenden Energieverbrauchswerte für das Jahr 2000 sind darauf zurückzuführen, dass die Verbrauchsangaben im Modell-Basis-Szenario temperaturbereinigt wurden, während das Referenz-Szenario der für 1990 und 2000 keine temperaturbereinigten Werte ausweist. Auf Grund des geringen Raumwärmeanteils im Industriesektor sind die Unterschiede zwischen tatsächlichen und temperaturbereinigten Werten jedoch gering. Beide Szenarien weisen auch einen ähnlichen Verlauf bei der Endenergienachfrage- und Emissionsentwicklung bis 2030 auf. Die Unterschiede

dürften auf einen nicht vollständig harmonisierten Satz an Rahmenbedingungen sowie Unterschiede in der technischen und ökonomischen Charakterisierung der abgebildeten Technologien und in der Architektur der Modellstrukturen zurückzuführen sein. In beiden Szenarien gehen die direkten CO_2-Emissionen in der Industrie bis zum Jahr 2020 kontinuierlich zurück. Im Referenzszenario fällt dieser Rückgang allerdings um knapp 2 Prozentpunkte stärker aus als im Modell-Basis-Szenario.

Tabelle 5.2-2 Energieverbrauch nach Energieträgern und CO_2–Emissionen im Sektor Industrie: Modifiziertes Referenz-Szenario und Modell-Basis-Szenario

	1990	**2000**	**2010**	**2020**
Energieverbrauch (PJ)	**Modifiziertes Referenz-Szenario**			
Insgesamt	**2977**[1)]	**2430**[1)]	**2471**	**2471**
Mineralöle	308	214	207	184
Gase	936	944	940	936
Steinkohlen	501	383	349	331
Braunkohlen	367	59	51	50
Fernwärme	101	62	79	87
Strom	748	756	792	839
Sonstige	16	12	53	45
	Modell-Basis-Szenario			
Insgesamt		**2460**[2)]	**2541**	**2459**
Mineralöle		215	262	241
Gase		967	1053	1056
Kohlen		443	416	371
Strom		753	770	761
Fernwärme		67	30	20
Sonstige		15	10	11
	Direkte CO_2–Emissionen in Mio. t			
Mod. Referenz-Szenario	171[3)]	119[3)]	111	106
Modell-Basis-Szenario	171[3)]	119[3)]	115	109
	Veränderung der CO_2–Emissionen gegenüber 1990			
Mod. Referenz-Szenario		-30,4 %	-35,1 %	-38,0 %
Modell-Basis-Szenario		-30,4 %	-32,7 %	-36,3 %

1) Ist-Werte, nicht temperaturbereinigt
2) Energieverbrauch temperaturbereinigt auf Normaljahr
3) Emissionen temperaturbereinigt; tatsächliche Werte: 1990: 168,5; 2000: 116,3

5.2.2 Diskussion der Reduktions-Szenarien sowie politische Maßnahmen zu ihrer Realisierung

5.2.2.1 Direkte energiebedingte CO_2-Emissionen

Die Ergebnisse der Reduktionsszenarien des IKARUS-Modells zeigen, dass im Reduktions-Szenario I der Beitrag der Industrie an der zusätzlichen CO_2-Emissionsminderung gegenüber dem Modell-Basis-Szenario minimal ist (Tabelle 5.2-3). Erst unter den Voraussetzungen des Reduktions-Szenarios II erhöht sich dieser Beitrag. Im Jahr 2030 liegt die zusätzlich gegenüber dem Modell-Basis-Szenario erreichte CO_2–Minderung bei rund 10 Mio. t (gegenüber lediglich 2 Mio. t im Reduktions-Szenario I). Verglichen mit den übrigen Verbrauchssektoren - mit Ausnahme des Verkehrs - fällt der Minderungsbeitrag des Industriesektors demnach insgesamt eher gering aus.

Tabelle 5.2-3 Direkte energiebedingte CO_2–Emissionen im Modell-Basis-Szenario und in den beiden Reduktionsszenarien im Sektor Industrie

	2010	**2020**	**2030**
	Direkte CO_2–Emissionen in Mio. t		
Modell-Basis-Szenario	115	109	104
Reduktions-Szenario I	115	109	102
Reduktions-Szenario II	113	103	94
	Abweichung gegenüber Modell-Basis-Szenario in Mio. t		
Reduktions-Szenario I	0	0	-2,0
Reduktions-Szenario II	-2,0	-6,0	-10,0
	Abweichung gegenüber Modell-Basis-Szenario in %		
Reduktions-Szenario I	0 %	0 %	-1,9 %
Reduktions-Szenario II	-1,7 %	-5,5 %	-9,6 %

Der eher geringe Beitrag des Industriesektors zu der insgesamt in den Reduktionsszenarien erreichten CO_2–Minderung ist dabei im Wesentlichen auf folgende Faktoren zurückzuführen:

- Wie oben erläutert, wird ein nicht unerheblicher Teil der im Industriesektor bestehenden Optionen zur rationellen Energieverwendung bereits im Modell-Basis-Szenario umgesetzt. Ein Teil dieser Optionen ist allerdings als „gehemmtes Potenzial“ zu bezeichnen, für

dessen tatsächliche Erschließung einige der energie- und klimapolitische Maßnahmen ergriffen werden müssten, die weiter unten angeführt und diskutiert werden.

- Ein weiterer Grund für den geringen Emissionsminderungsbeitrag der Industrie liegt darin, dass die zur Verfügung stehenden Maßnahmen und Maßnahmenpotenziale eher konservativ eingeschätzt wurden. Begründet ist dies damit, dass nur Maßnahmen in Betracht gezogen wurden, die unter den heutigen internationalen Wettbewerbsbedingungen als realisierbar eingeschätzt werden. Bei den in Kapitel 4 im Reduktionsszenario II angeführten Grenzausgaben für CO_2–Emissionen würden Teile der deutschen energieintensiven Industrie ins Ausland abwandern bzw. es würde eine Produktsubstitution (z.B. von Primäraluminium zu Stahl oder Kunststoff) erfolgen. Derartige Effekte werden mit dem IKARUS-Modell jedoch nicht abgebildet. Wie weiter unten aufgezeigt wird, greifen bei diesen Emissionsminderungskosten auch die flexiblen Instrumente des Kyoto-Protokolls beziehungsweise der EU-Emissionshandel, so dass Maßnahmen mit derartigen Emissionsminderungskosten in der Industrie wahrscheinlich nicht umgesetzt werden.

- Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass sich die Brennstoffsubstitutionspotenziale in der Industrie ausschließlich auf die Dampferzeuger und KWK-Anlagen beziehen. Für industrielle Prozessfeuerungen sind keine Optionen der Brennstoffsubstitution vorgesehen, was die Realität natürlich nur eingeschränkt wiedergibt. Dies erklärt auch den in Tabelle 5.2-4 angegebenen starken Wechsel zur Biomasse (dort unter Sonstige subsumiert), während weiterhin auch Öl und Kohle für Prozessfeuerungen eingesetzt wird und dort beispielsweise nicht - wo es technisch möglich ist - auf Gas umgestellt wird.

- Als letzter Punkt ist darauf hinzuweisen, dass die Ausweisung der CO_2–Einsparungen bei industriellen KWK-Anlagen analog der Aufteilung der Energiebilanzen erfolgt; d.h. ein Teil wird der Industrie und ein Teil dem Umwandlungssektor gutgeschrieben.

Tabelle 5.2-4 Endenergieverbrauch nach Energieträgern in der Industrie im Modell-Basis-Szenario sowie in den Reduktions-Szenarien 1 und 2

Angaben in PJ	2000	Modell-Basis-Szenario			Reduktions-Szenario I			Reduktions-Szenario II		
		2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030
Mineralöl	215	262	241	236	258	228	201	244	205	165
Gas	967	1053	1056	1060	1099	1141	1172	1107	1136	1102
Kohle	443	416	371	323	412	351	300	400	331	297
Strom	753	770	761	796	768	745	778	765	743	775
Fernwärme	67	30	20	10	30	20	10	30	20	10
Sonstige	15	10	11	11	10	11	11	10	16	66
Summe	2460	2541	2459	2436	2576	2494	2471	2556	2450	2415
Anmerkung: Ohne Gutschrift für Fernwärmerückspeisung.										

Wie bereits oben beschrieben, entfällt der größte Teil des für die direkt dem Industriesektor zuzurechnenden CO_2–Emissionen verantwortlichen Energieverbrauchs auf Prozesswärmezwecke (siehe Tabelle 5.2-1). Diese lassen sich wiederum differenzieren in prozessspezifische thermische Anwendungen, die rund zwei Drittel des Verbrauchs ausmachen, sowie in der Industrie relevante thermische Querschnittstechnologien (Tabelle 5.2-5). Die Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“ des Deutschen Bundestages hat in ihrem Anfang Juli 2002 vorgelegten Abschlussbericht (Enquete-Kommission 2002) die in diesen Anwendungsbereichen bestehenden Energieeinsparpotenziale umfassend dargestellt sowie Erschließungsmöglichkeiten aufgezeigt. In Tabelle 5.2-5 werden die dort beschriebenen Potenziale zusammenfassend dargestellt[120]. Die größten Einsparpotenziale liegen danach bei den thermischen Querschnittstechnologien, bei denen sich bis zu 30 % des heutigen Energiebedarfs (1998) einsparen ließe. Die Erschließung von Einsparmöglichkeiten bei prozessspezifischen Anwendungen insbesondere in der energieintensiven Grundstoffindustrie, auf die der größte Teil des Energieverbrauchs entfällt, ist demgegenüber erheblich schwieriger und häufig erst bei Anlagenerneuerungen und Prozesssubstitutionen im Rahmen langlebiger Investitionszyklen zu realisieren.

Tabelle 5.2-5 Energieeinsparpotenziale im Bereich thermischer Nutzung von Energie im Sektor Industrie (bezogen auf 1998)

	Verbrauch 1998	Technisches Potenzial		Wirtschaftliches Potenzial	
	PJ	PJ	%	PJ	%
Thermische Nutzung					
Thermische Nutzung >500°C	883,9	117,2	13%	40,3-55,8	5-6%
Thermische Nutzung 200 bis < 500°C	26,6	6,9	26%	3-3,7	11-14%
Thermische Nutzung <200°C	230,7	40,0	17%	15,5-21,5	7-9%
Thermische Querschnittstechnologien Industrie	582,7	174,8	30%	58-87	10-15%
Summe thermische Nutzung (PJ)	**1723,9**	**338,91**	**20%**	**117-168**	**7-10%**
	(125,3 Mio. t CO_2)	**(24,6 Mio. t CO_2)**		**(8,5-12,2 Mio. t CO_2)**	

Quelle: basierend auf Enquête-Kommission 2002

Im Folgenden werden für die verschiedenen Technologiebereiche Maßnahmen bzw. Maßnahmenbündel beschrieben, die zu einer Realisierung der in Tabelle 5.2-5 aufgeführten technischen und wirtschaftlichen Einsparpotenziale beitragen können (siehe Tabelle 5.2-6).

[120] Die Aufteilung der Potenziale in technische und wirtschaftliche beruht dabei allein auf dem Kriterium der Amortisationszeit der Investitionen, die für „wirtschaftliche“ Potenziale mit bis zu 5 Jahren angenommen wird. Es fehlt, wie im Enquete-Bericht kritisch angemerkt wird, eine einzelwirtschaftliche Betrachtung der Effizienztechnologien. Da die als technisches Potenzial eingestuften Investitionen i.d.R. auch Amortisationszeiten aufweisen, die innerhalb der Lebensdauer der Anlagen liegen, kann aus volkswirtschaftlicher Sicht vereinfacht auch für die technischen Potenziale eine Wirtschaftlichkeit angenommen werden, die lediglich weniger strengen Wirtschaftlichkeitskriterien genügt.

Tabelle 5.2-6 Maßnahmen und Maßnahmenwirkungen zur Realisierung von Einsparpotenzialen bei thermischer Nutzung von Energie in der Industrie

Technologiebereich	**Maßnahmen**	**Wirkung der Maßnahmen** [1)]
Thermische Nutzung >200°C (Metalle, Steine-Erden, Glas/Keramik, Olefine) (eher größere Unternehmen)	Deutlich verbesserte Selbstverpflichtung/Benchmarking Agreements bzw. Emissionshandel mit verschärftem Cap Audits F&E zur längerfristigen Erschließung der Potenziale	Kurzfristig (bis 2020) größerer Teil des ökonomischen Potenzials erschließbar. Längerfristig (2020-2050) deutlich größerer Anteil des technischen Potenzials erschließbar **bis 2020:** **ca. 39 PJ / 2,8 Mio. t CO_2**
Thermische Nutzung <200°C (Nahrungsmittel, Trocknungsprozesse, Textilherstellung) (eher KMU)	Audits + Benchmarking finanzielle Anreize für Umsetzung von Effizienzmaßnahmen	Weitgehende Ausschöpfung des ökonomischen Potenzials bis 2020 möglich. **bis 2020:** **ca. 19 PJ / 1,3 Mio. t CO_2**
Thermische Querschnittstechnologien (im Wesentlichen industrielle Dampf/Heißwassererzeuger)	Aufmerksamkeitsprogramme (ARP) in Verbindung mit ökonomischen Anreizen und Regulierung (ERP). Teil eines EU-weit koordinierten Dampf/Heißwassererzeuger Programms.	Ziel: 75 % des ökonomischen Potenzials **bis 2020** **ca. 54 PJ / 4 Mio. t CO_2**)
Summe thermische Energienutzung		***Bis 2020:*** ***ca. 111 PJ/ 8,1 Mio. t CO2*** ***bis 2030:*** ***Gesamtheit des ökonomischen Potenzials (143 PJ / 10,4 Mio. t CO_2) sowie Teile des heutigen technischen Potenzials durch F&E***

1) Quantifizierung basierend auf den in Tabelle 5.2-5 aufgeführten technischen und ökonomischen Energieeinsparpotenzialen.

Die prozessspezifischen thermischen Anwendungen >200° und insbesondere >500° betreffen vor allem die eher größeren, energieintensiven Unternehmen des Metallgewerbes, der Steine-Erden-Industrie, der glas- und feinkeramischen Industrie sowie Teile der chemischen Industrie. Die bestehenden Einsparpotenziale sind hier geringer als in anderen Bereichen (Tabelle 5.2-5), da Einsparmöglichkeiten wegen der größeren Bedeutung der Energiekosten eher genutzt werden. Die Erschließung der existierenden Potenziale wiederum ist insbesondere kurz- bis mittelfristig schwieriger, da auf Grund der Langlebigkeit vieler Prozesstechnologien ein Teil des Potenzials erst durch Anlagenerneuerung und Prozess- und Produktsubstitution im Rahmen langfristiger Investitionszyklen realisiert werden kann. Zur besseren Ausschöpfung

dieser längerfristigen technischen Potenziale kann vor allem eine stärker am Kriterium der Energieeffizienz ausgerichtete *F&E-Förderung* beitragen. Zu einer stärkeren Ausschöpfung des ökonomischen Einsparpotenzials kann auch *eine verbesserte Ausgestaltung der Selbstverpflichtung in der Industrie* (vgl. Kapitel 3.2) bzw. alternativ ein *Emissionshandel mit verschärftem Cap* (vgl. Kapitel 6) beitragen.

Als weitere unterstützende Maßnahme ist ein *EDV-gestütztes Energie-Benchmarking* zu nennen, d. h. das Angebot von Vergleichsmöglichkeiten mit anderen Betrieben innerhalb einer Branche oder für Bereiche mit homogenen Energieverbrauchsmustern. Es werden Indikatoren für den Energieverbrauch und die Energiekosten bereitgestellt, damit sich die einzelnen Betriebe an guten oder „Best-"Werten messen können In der Vergangenheit wurden mehrere Programme entwickelt, in denen mittels eines einfachen Erhebungsbogens betriebliche Daten (Brennstoff- und Stromverbrauch, Beschäftigte, Umsatz, Fläche etc.) erhoben und zu Indikatoren verarbeitet werden. Die Betriebe erhalten eine Rückmeldung über ihre eigenen Kennwerte im Vergleich zum Durchschnitt anderer Betriebe sowie Handlungsempfehlungen. Wenn die Betriebe diese Datenblätter jährlich einreichen, können individuelle Zeitreihen aufgestellt werden. Aufgrund vielfältiger Hemmnisse (geringe Bedeutung der Energiekosten, Informations- und Zeitmangel der Verantwortlichen etc.) fehlt in vielen Betrieben die Motivation, energiesparende Maßnahmen durchzuführen. Die Einordnung von Energieverbrauchskennzahlen im Vergleich mit anderen Betrieben könnte eine solche Motivation bewirken.

Insbesondere in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) sollte künftig ein wichtiges Augenmerk auf die *Förderung der Energieberatung (Energie-Audit)* gesetzt werden. Dies betrifft sowohl die stärkere Realisierung von Einsparpotenzialen im Bereich thermischer Anwendungen <200°C (relevant vor allem in der Textil- und Ernährungsindustrie sowie bei Trocknungsprozessen in verschiedenen Branchen) sowie auch den gesamten Bereich der Querschnittstechniken. Zu denken ist insbesondere an direkte Zuschüsse zu Initialberatungen von KMU, wobei für die Beratungen Qualitätsstandards festgelegt werden müssen[121]. KMU verfügen nicht über eigene Energiefachleute, die Verantwortlichen haben zu wenig Zeit, sich mit dem Energiethema zu beschäftigen und kennen ihre Energiesparpotenziale nicht. Sie nehmen Energieberatung seltener in Anspruch als größere Betriebe, weil sie nicht wissen, ob diese sich lohnt. Die Förderung einer ersten Betriebsbegehung mit Grobanalyse reduziert die

Transaktionskosten und stößt zu Investitionen und ggf. vertieften Analysen an. In einigen Ländern wurden mit derartigen Energie-Audits gute Erfahrungen gemacht, insbesondere, wenn sie mit anderen Maßnahmen kombiniert wurden. In Finnland beispielsweise werden Energie-Audits im Industriesektor seit 1992 finanziell mit etwas 40 % der anfallenden Kosten gefördert. Eine deutliche Zunahme der Audits erfolgte vor allem seit Ende der 90er Jahre, nachdem diese Audits direkt mit den freiwilligen Selbstverpflichtungen der Wirtschaft gekoppelt wurden (Motiva Oy 2003). Das finnische Beispiel zeigt, dass durch Energie-Audits in kleinen und mittleren Unternehmen bei den Brennstoffen rund zwei Drittel des bestehenden Einsparpotenzials von 25 % innerhalb von 2 Jahren nach dem Audit realisiert werden konnten; in größeren energieintensiven Unternehmen waren die Potenziale allerdings deutlich geringer (Motiva Oy 2003).

Auch *stärkere finanzielle Anreize* für die Durchführung von Energieeffizienzmaßnahmen können insbesondere bei kleinen und mittleren Unternehmen wirksam sein. Zu denken ist hier insbesondere an eine Verbesserung der Kreditprogramme von DtA und KfW (bzw. der neuen Mittelstandsbank), die bereits im nationalen Klimaschutzprogramm und im 3. Nationalbericht der Bundesregierung angekündigt wurde.

Die meisten der bereits genannten Maßnahmen zur stärkeren Ausschöpfung von Einsparpotenzialen sind sowohl für prozessspezifische als auch für Querschnittstechniken geeignet. Die größten spezifischen und absoluten Einsparpotenziale weisen dabei die Querschnittstechniken auf, insbesondere im Strombereich, aber auch bei thermischen Anwendungen. Thermische Querschnittstechnologien im Industriesektor sind im Wesentlichen industrielle Dampf- und Heißwassererzeuger. Eine systematische Erschließung der bestehenden Potenziale könnte in diesem Bereich durch auf EU und nationaler Ebene koordinierte Programme erfolgen, welche „Aufmerksamkeits-Programme“ sowie ökonomische Anreize kombinieren. Eine ausführliche Diskussion dieser Maßnahmen erfolgt im nachfolgenden Abschnitt bei den Querschnittstechnologien im Strombereich, für die mit derartigen Programmen noch größere Einsparpotenziale zu realisieren sind.

Über die in Tabelle 5.2-6 dargestellten Maßnahmen zur Erschließung von Einsparpotenzialen bei thermischen Anwendungen hinaus könnte auch die *Energieträgersubstitution* im indus-

---

[121] Beispielsweise eine Orientierung an der VDI-Richtlinie 3922 „Energieberatung für Industrie und Gewerbe“ oder dem „Leitfaden für das betriebliche Energiemanagement“ des Umweltbundesamtes.

triellen Sektor (ohne Substitution zum Strom) bis 2030 einen Beitrag zur CO_2–Reduzierung von ca. 1 Mio. t CO_2 leisten. Allerdings ist anzumerken, dass das weitere Energieträger-Substitutionspotenzial bei einem Anteil von Gas und Strom am industriellen Endenergieverbrauch von bereits 70 % im Jahr 2000 beschränkt ist.

5.2.2.2 Strom

Im Jahr 2001 lag der Anteil der Industrie am gesamten Stromverbrauch der Endenergiesektoren bei rund 43% (753 von 1741 PJ; AGEB 2002). Innerhalb des Industriesektors erreichte der Strom über alle Anwendungszwecken im Jahr 2001 bereits einen Anteil von 31,5 % am industriellen Endenergieeinsatz, mit weiter steigender Tendenz (Tabelle 5.2-1). Einsparungen bei den Stromanwendungen, insbesondere auch im Industriesektor, erscheinen daher als besonders wichtig.

Maßnahmen, die den Industriesektor betreffen, sollten dabei

- *zum einen in ein größeres Programm zur rationellen Stromnutzung eingebunden werden, das die Endenergie-Sektoren Industrie, GHD und Haushalte umfasst, und*
- *zum anderen Programme der Europäischen Union zur rationellen Stromnutzung im Industriebereich aufnehmen und verstärken.*

Im Industriebereich sollte dieses Programm Komponenten enthalten, welche die in Tabelle 5.2-7 aufgeführten elektrischen Querschnittstechnologien umfasst, um die dort aufgeführten Potenziale zu realisieren. Während das technische Stromeinsparpotenzial über 30 % beträgt, könnten durch auch strengen Wirtschaftlichkeitskriterien genügenden Maßnahmen ca. 109 PJ (29 TWh; 17 % des Stromverbrauchs in der Industrie) eingespart werden.

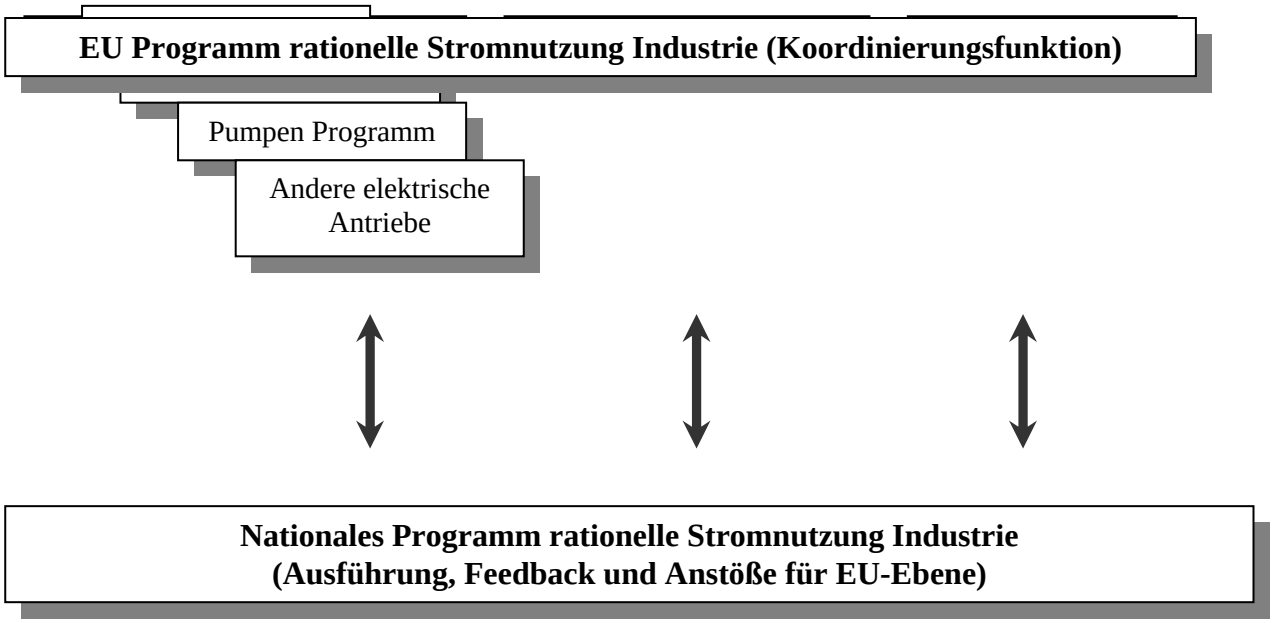
Tabelle 5.2-7 Energieeinsparpotenziale im Bereich elektrischer Anwendungen im Sektor Industrie

	Verbrauch 1998	Technisches Potenzial		Wirtschaftliches Potenzial	
	PJ	PJ	%	PJ	%
Elektrotechnologien	***73,5***	***26,6***	***36,20%***	***4,8-6,9***	***6,5%-9,4%***
Elektrische Querschnittstechnologien					
Druckluft	63,0	30,2	48%	19-22	30%-35%
Pumpen und Ventilatoren	175,7	43,9	25%	21-26	12-15%
darunter Ventilatoren (1997)	155,6	34,1	22%	16-20	10-13%
sonstige elektrische Antriebe	218,3	50,8	23%	25	11%
Klimatisierung und sonstige elektr. Prozeßwärme	68,3	20,3	30%	7-10	10-15%
Beleuchtung	37,0	28,3	77%	21	56%
IuK (Büro-Endgeräte u. Infrastruktur 2001)	32,0	8	25%	5	15%
Summe elektrische Querschnittstechnologien	***594,3***	***181,5***	***31%***	***97-109***	***17-19%***
Summe elektrische Anwendungen	**667,8**	**208,1**	**31%**	**102-116**	**16-18%**

Quellen: basierend auf Enquête-Kommission 2002 sowie Cremer et al. 2003

Derzeit existieren bereits Ansätze auf der EU Ebene (z. B. Motor Challenge Programme und das GreenLight Programme [122]) und auf nationaler Ebene (z. B. Druckluft-Kampagne[123]). Sie kranken jedoch, insbesondere auf EU Ebene, an mangelnder Koordination und finanzieller Ausstattung, und auf nationaler Ebene an Zersplitterung und ungenügender Beachtung der Anstrengungen auf EU-Ebene. Zu einer breiten Umsetzung der genannten Programme dürfte bei heutigem Start ein Zeitraum von gut 15 Jahren (bis ca. 2020) nötig sein. Die Finanzierung der Koordination sollte durch das EU Programme „Intelligent Energy for Europe“ und dessen Nachfolgeprogramme erfolgen, die Finanzierung der nationalen Kampagnen durch nationale Gelder. Die wünschenswerte Verknüpfung von deutschen mit EU-Aktivitäten bedeutet aber nicht, auf EU Aktivitäten warten zu müssen. Diese können auch durch erste Maßnahmen auf nationaler Ebene angestoßen werden.

Abbildung 5.2-1 Koordinierte Maßnahmen zur rationellen Stromnutzung in der Industrie



In Übersicht 5.2-1 wird am Beispiel von industriellen Anlagen zur Drucklufterstellung dargestellt, wie die einzelnen Programme ausgestaltet werden könnten.

[122] siehe energyefficiency.jrc.cec.eu.int/Motorchallenge/index.htm sowie www.eu-greenlight.org/index.htm
[123] siehe www.druckluft-effizient.de/index.php

Übersicht 5.2-1 Mögliche Ausgestaltung von Programmen zur rationellen Stromnutzung am Beispiel industrieller Anlagen zur Druckluftherstellung

Da die Hemmnisse zur Umsetzung energieeffizienter Maßnahmen im Grunde auf organisatorische Faktoren bei den Druckluftanwendern zurückgehen, müssen sich mögliche Maßnahmen an Anwendern orientieren und auf Organisationsveränderungen abzielen. Das Ziel ist es, das Management (Geschäftführer, Technische Leiter) zu überzeugen, die notwendigen Entscheidungen für die Durchführung von Energieeffizienzprogrammen zu treffen. Einzelne Maßnahmen sind in zwei sich ergänzende Programme zusammengefasst:

- Das "**Awareness Raising Programme (ARP)**" (Aufmerksamkeits-Programm; in Anlehnung an das bestehenden EU-GreenLights-Programm) umfasst die Maßnahmen im Bereich Information und Entscheidungsunterstützung und könnte Einsparungen bis zu 16,5 % des derzeitigen Stromverbrauchs in Druckluftanlagen aktivieren.
- Das "**Economic and Regulatory Programme (ERP)**" (Maßnahmen-Programm für Wirtschaftlichkeit, Vorschriften, Subventionen und Steuern) könnte zusammen mit dem ARP Einsparungen bis zu 24,7 % initiieren. (Dabei ist zu beachten, dass das ERP ohne die gleichzeitige Umsetzung des ARP unwirksam wäre.)

Teil des Aufmerksamkeits-Programms sollten folgende Maßnahmen sein:

- **Werbekampagne** zur Steigerung des Bewusstseins für den Stromverbrauch in Druckluftanlagen;
- **Demonstrations- und Pilotvorhaben** mit innovativen Konzepten, wie z. B. durch Gasturbinen angetriebene Kompressoren, neue Rohrverbindungstechniken, um Leckageverluste zu reduzieren, neue Konzepte der Druckluftaufbereitung, durch Erdgasexpansionsanlagen angetriebene Kompressoren oder eine automatisierte Leckageerkennung;
- **Messkampagne**, um Nutzern von Druckluftanlagen ein besseres Verständnis des qualitativen und quantitativen Einsparpotenzials ihrer Druckluftanlagen zu vermitteln;
- **Wettbewerbe und Preise**; Motivation zu einer optimierten Anlagenauslegung;
- **Informationskampagnen**, Aus-, Fort- und Weiterbildung im Hinblick auf Energieeinsparungen bei Druckluftanlagen;
- **Lebenszykluskosten**, die aufzeigen, dass optimierte umweltgerechte Entscheidungen auch wirtschaftlich optimal sind;

Teil des Maßnahmen-Programms für Wirtschaftlichkeit, Vorschriften, Subventionen und Steuern

- **Kennzeichnung und Zertifizierung** sowohl von Anlagenkomponenten als auch von Gesamtanlagen;
- **freiwillige Selbstverpflichtungen** zwischen Herstellern und Anwendern;
- **Erstellung von Leitfäden**, um Outsourcingverträge für Druckluftdienstleistungen zu verbessern;
- **Steuern auf Energie oder CO_2**;
- **Subventionen**, besonders zur Unterstützung bei der Auswahl und Konzeption von Anlagen und für Audits;
- **Vorschriften und Normung** für Systemauslegung und -betrieb.

Die Umsetzung dieser Einsparpotenziale ein sehr ehrgeiziges Ziel dar, das jedoch ohne weiteres über einen Zeitraum von 15 Jahren erreicht werden kann. Für einen Erfolg der zu ergreifenden Maßnahmen ist dabei sicherzustellen, das die Programme den folgenden Rahmenbedingungen gerecht werden:

- optimale Abstimmung zwischen der EU und den Maßnahmen einzelner Mitgliedsstaaten;
- ausreichende und langfristige Finanzierung;
- ausreichendes Personal;
- hochrangige politische Unterstützung und Förderung, um eine breite Akzeptanz in der Öffentlichkeit zu erzielen;
- großes Engagement von Wirtschaftsunternehmen und Fachorganisationen.

Dieses Programm würde am sinnvollsten im Zusammenspiel von aufeinander abgestimmten Maßnahmen auf nationaler und europäischer Ebene funktionieren, z. B. integriert in ein Programm zur Verbesserung der Energieeffizienz bei Einsatz und Anwendung von Elektromotoren (Motor Challenge Programme).

Quelle: basierend auf Radgen/Blaustein 2001

Andere Programme für Ventilatoren, Pumpen, sonstige elektrische Antriebe und Beleuchtung (Anknüpfung an das EU-GreenLight Programm und Verstärkung durch Maßnahmen auf nationaler Ebene) könnten nach einem ähnlichen Muster erfolgen. Bei einem Programm für IuK-Technologien sind dabei besondere Aspekte zu berücksichtigen, insbesondere der schnelle Wandel der Technologien dem z. B. durch die Entwicklung von "Frühwarnsystemen" in Zusammenarbeit mit den entsprechenden Verbänden, um neu entstehende Stromnachfrage rechtzeitig zu erkennen und frühzeitig Maßnahmen der rationellen Energienutzung einzuleiten Rechnung getragen werden könnte. Markttransformationsprogramme sowie Beschaffungsregeln, die Lebenszykluskosten berücksichtigen und kooperative Beschaffung von energieeffizienten IuK-Technologien, vor allem durch die öffentliche Hand, können eine wichtige Rolle beim Durchbruch solcher Technologien spielen.

Tabelle 5.2-8 stellt die wichtigsten Maßnahmen und deren Wirkungen im Überblick zusammen. Bis 2020 könnte etwa 75 %, bis 2030 die Gesamtheit des in Tabelle 5.2-7 aufgeführten wirtschaftlichen Stromeinsparpotenzials realisiert sein.

Tabelle 5.2-8 Maßnahmen und Maßnahmenwirkungen zur Realisierung von Einsparpotenzialen bei elektrischer Nutzung von Energie in der Industrie

Technologiebereich	Maßnahmen	Wirkung der Maßnahmen [1)]
Elektrotechnologien	Benchmarking Agreements, Audits	ca. 1,4 TWh
Elektrische Querschnitts-technologien		
Druckluft	Aufmerksamkeitsprogramme (ARP) in Verbindung mit ökonomischen Anreizen und Regulierung (ERP). Teil eines EU-weit koordinierten Motor Challenge Programms.	Ziel: 75 % des wirtschaftlichen Potenzials bis 2020 (ca. 4,3 TWh)
Pumpen		Ziel: 75 % des wirtschaftlichen Potenzials bis 2020 (ca. 4,9 TWh)
Ventilatoren		
sonstige elektrische Antriebe		Ziel: 75 % des wirtschaftlichen Potenzials bis 2020 (ca. 5,2 TWh)
Beleuchtung	Aufmerksamkeitsprogramme (ARP) in Verbindung mit ökonomischen Anreizen und Regulierung (ERP). Teil eines EU-weit koordinierten Greenlight Programms.	Ziel: 75 % des wirtschaftlichen Potenzials bis 2020 (ca. 4,4 TWh)
IuK	Markttransformationsprogramme; Verbesserung des EU Energy Star Labels (insbesondere bei Stand-by und Schein-Aus); Leitlinien für Beschaffung Life-Cycle-Costing; freiwillige Vereinbarungen der Hersteller; "Frühwarnsysteme" für neue Stromanwendungen	Ziel: 100 % des wirtschaftlichen Potenzials bis 2020 (ca. 1,4 TWh)
Summe Stromnutzung		***bis 2020: ca. 21,5 TWh*** ***bis 2030: ca. 27,8 TWh***

1) Quantifizierung basierend auf den in Tabelle 5.2-7 aufgeführten technischen und wirtschaftlichen Stromeinsparpotenzialen.

5.2.2.3 Industrielle Kraft-Wärmekopplung

Nach AGFW (2001) hat die industrielle KWK im Jahre 1999 rund 30 TWh an Brennstoffeinsatz eingespart und 8,3 Mio. t CO_2 vermieden. In der industriellen KWK existieren aber noch deutliche höhere Potenziale zur CO_2-Minderung. Diese beruhen darauf, dass in den nächsten Jahren relevante Kraftwerksleistungen im öffentlichen Anlagenpark vom Netz gehen[124]. Weiterhin gibt es in der Industrie noch einen hohen Anteil an Nutzwärmebedarf, der bisher noch nicht über KWK-Anlagen gedeckt wird. Im Bereich Industrie liegt der Prozess- und Raumwärmebedarf unter 400°C für das Jahr 2001 bei ca. 242 TWh, von denen ca. 90 TWh über die industrielle KWK gedeckt wird. Damit bleibt ein Nutzwärmebedarf von rund 150 TWh. Unter Berücksichtigung, dass die industriellen KWK so ausgelegt sind, dass sie zu ca. 70 % der Deckung des Wärmebedarfes beitragen (der Rest wird über Spitzenlastkessel abgefahren)[125], verbleibt ein Nutzwärmebedarf von rund 105 TWh für die industriellen KWK-Anlagen zur Deckung übrig. Davon allerdings muss noch ein Teil abgerechnet werden, weil sich gerade innerhalb vieler Kleinbetriebe ein KWK-Einsatz nicht rechnet. Sieht man deshalb ein sinnvolles zusätzlich realisierbares Potenzial von 80 TWh, so ergäben sich daraus CO_2–Einsparungen in der Größenordnung von 7,6 Mio. t CO_2 (die Werte von AGFW (2001) unterstellt). Dies entspricht dem heutigen Potenzial.

Eine Aufteilung der CO_2–Emissionen auf Strom und Wärme ergibt folgendes Bild: Legt man für den Brennstoffeinsatz die Aufteilung der AG Energiebilanzen zu Grunde und setzt man nach AGFW (2001) als Referenzsystem[126] für Strom 609,3 g CO_2/kWh und Wärme 300 g CO_2/kWh an, dann sinken die CO_2–Emissionen für Strom um 9 Mio. t und für Wärme steigen sie um 1,4 Mio. t[127]. Neuere Anlagen mit höheren elektrischen Wirkungsgraden führen allerdings zu größeren Einsparungen, so dass die angegebenen Einsparungen die untere Grenze darstellen dürften[128].

---

124 Nach AGFW 2001 beträgt der Ersatz im Jahre 2010 18 GW (20% der installierten Leistung) und wächst bis zum Jahre 2020 auf 54 GW (60 % der Leistung) an.

125 DLR et al. (2002).

126 Die Wahl des „richtigen“ Referenzsystems bei der KWK ist sehr umstritten (siehe AGFW (2001) und beeinflusst das Ergebnis. Weiterhin umstritten ist die Zuteilung der CO_2–Emissionen und des Brennstoffeinsatzes auf die Kuppelprodukte Strom und Wärme.

127 Die Tatsache, dass für Wärme erhöhte CO_2 Emissionen auftreten liegt an der gewählten Konvention zur Aufteilung der Eingangs-Brennstoffe der KWK. Dem Strom wird dabei ein vergleichsweise hoher Wirkungsgrad zugeordnet. In anderen Konventionen wird der Wirkungsgrad beim Strom niedriger angesetzt, um die Vorteile der KWK der Wärme zukommen zu lassen und damit dem Endenergiesektor Industrie, wo die Technologie eingesetzt wird, statt überwiegend dem Umwandlungssektor.

128 In der Industrie betriebene KWK-Anlagen haben eine durchschnittliche Stromkennzahl von 0,58 und einen mittleren Jahresnutzungsgrad von 84 %. Eine typische Anlage zur gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung hat daher einen elektrischen Wirkungsgrad von 31 %. Künftig werden höhere durchschnittliche Stromkennzahlen von 0,7 und ein durchschnittlicher elektrischer Wirkungsgrad von 35 % erwartet.

Künftig wird vom einem Rückgang des Prozess- und Raumwärmebedarfs um rund 25 % bis 2030 ausgegangen. Dadurch sinkt auch das Einsparpotenzial für Wärme auf 67 TWh im Jahr 2020 und 61 TWh im Jahr 2030 (siehe die überschlägige Abschätzung in Tabelle 5.2-9). Weiterhin wird künftig von einem deutlichen Anstieg der mittleren Stromkennzahl aller Anlagen von heute 0,38 auf 0,68 (2020) und 0,7 (2030) ausgegangen. Daraus ergibt sich ein stromseitiges Reduktionspotenzial durch KWK von 46 TWh bis 2020 und 43 TWh bis 2030 (siehe Tabelle 5.2-9). Wie in Kapitel 3 bereits ausgeführt wurde, wird erwartet, dass ein Teil dieser Potenziale autonom unter den heutigen Rahmenbedingungen realisiert wird. Um das Potenzial an Anlagen, die am Rande der Wirtschaftlichkeit stehen, jedoch weitergehend auszuschöpfen, bedarf es zusätzlicher Maßnahmen, die im Folgenden diskutiert werden.

Die *Erzeugung von Strom in Kraft-Wärme-Kopplung zur Eigennutzung sollte vergleichbar zum KWKModG gefördert werden*[129] (mit ca. 1,74 - 1,59 €-Cent/kWh_{el}). Die Förderung sollte für Anlagen, die wieder in Betrieb gehen sowie neu errichtete Anlagen gelten. Voraussetzung für eine Förderung sollte allerdings sein, dass bestimmte Mindestanforderungen an den Gesamtwirkungsgrad[130] erfüllt werden. Abzuklären ist auch die Frage nach Mitnahmeeffekten durch Anlagen, die auch ohne Förderung wieder in Betrieb gesetzt würden bzw. neu gebaut würden.

Bei einer Förderung mit vergleichbaren Sätzen nach KWKModG für eigenverbrauchten Strom könnten viele bestehende Anlagen sofort wieder in Betrieb gehen, d.h. die Maßnahme würde sofort wirksam werden. Anstehende Investitionen in neue Erzeugungsanlagen werden vorgezogen oder erst möglich durch eine zusätzliche Förderung. Nach einer Vorlaufzeit von ca. 1,5 Jahren für Planung und Bau könnten neue Anlagen ab ca. 2005 realisiert sein.

Eine weitere Maßnahme zur Förderung der KWK sollte in der *Förderung von Unternehmenskooperationen* liegen, bei denen die beteiligten Unternehmen gemeinsame Energieversorgungsanlagen errichten und für die Selbstversorgung betreiben. Im Industriebereich gibt es sehr wirtschaftliche Potenziale für die Errichtung gemeinsamer KWK-Anlagen, die bis jetzt noch nicht umgesetzt wurden. Wenn Strom- und Wärmebedarf örtlich konzentriert sind und hohe Jahresbenutzungsstunden vorliegen, ergeben sich gute Ausgangsbedingungen für einen wirtschaftlichen Betrieb. Einzelne Fallstudien[131] zeigen, dass große Potenziale in Unternehmenskooperationen liegen, umfassende Potenzialanalysen liegen jedoch bisher nicht vor.

---

[129] Nach dem KWKModG wird Strom aus KWK-Anlagen, der ins Netz der öffentlichen Versorgung eingespeist wird, gefördert. Nicht gefördert wird Strom aus KWK-Anlagen, der zur Eigennutzung dient.

[130] Siehe zu diesen Mindestanforderungen die Vorschläge in AGFW (2001).

[131] „Entwicklung eines regionalen Energiemanagement-Konzeptes und Anwendung auf die TechnologieRegion Karlsruhe“, Uni Karlsruhe (IIP, EBI, IfSoz), Fraunhofer ICT, September 2002.

Dabei sollte die Erarbeitung möglicher Konzepte zu Unternehmenskooperationen finanziell gefördert werden, wobei gegebenenfalls auch kommunale Einrichtungen davon partizipieren können. Im Rahmen der geförderten Kooperationen werden dabei Erfahrungen mit der Betreiberstruktur sowie der Finanzierung gesammelt, wodurch bestehende Hemmnisse im Bereich Unternehmenskooperationen identifiziert und abgebaut werden. Wichtig ist daher, dass die durchgeführten Kooperationen als Demonstrationsprojekte dienen und weitere Kooperationen durch diese Projekte ausgelöst werden. Gefördert werden sollen dabei insbesondere Konzepte für neue Industrieansiedlung, da hier Beschränkungen durch bestehende Strukturen noch nicht vorhanden sind.

5.2.3 Fazit

Tabelle 5.2-9 fasst die Einsparpotenziale für die direkten CO_2-Emissionen und den Strom im Industriesektor zusammen:

Tabelle 5.2-9 Zusätzliches Reduktionspotenzial der energiebedingten CO_2– Emissionen in der Industrie (direkte und stromseitige Emissionen)

Technologiebereich	2020	2030
Thermische Nutzung der Energie	–111 PJ –8,1Mio. t CO_2	–143 PJ –10,4 Mio. t CO_2
Elektrische Nutzung der Energie	-21,5 TWh	-27,8 TWh
Industrielle KWK [1)]	Wärme: -67 TWh +1,2Mio. t CO_2 Strom: –46 TWh –9 Mio. t CO_2	Wärme: -61 TWh +1,1 Mio. t CO_2 Strom: –43 TWh –10 Mio. t CO_2

[1)] Veränderungen der Wärme-CO_2-Emissionen werden dem Industriesektor zugerechnet, Veränderungen stromseitig dem Umwandlungssektor. Der positive Wert bei den CO_2 Emissionen wärmeseitig ist auf die Wahl der Aufteilung des KWK Brennstoffeinsatzes nach Strom- und Wärmeanteil zurückzuführen, welche die Wärme benachteiligt und damit die Einsparung durch KWK weitgehend dem Umwandlungssektor zuordnet.

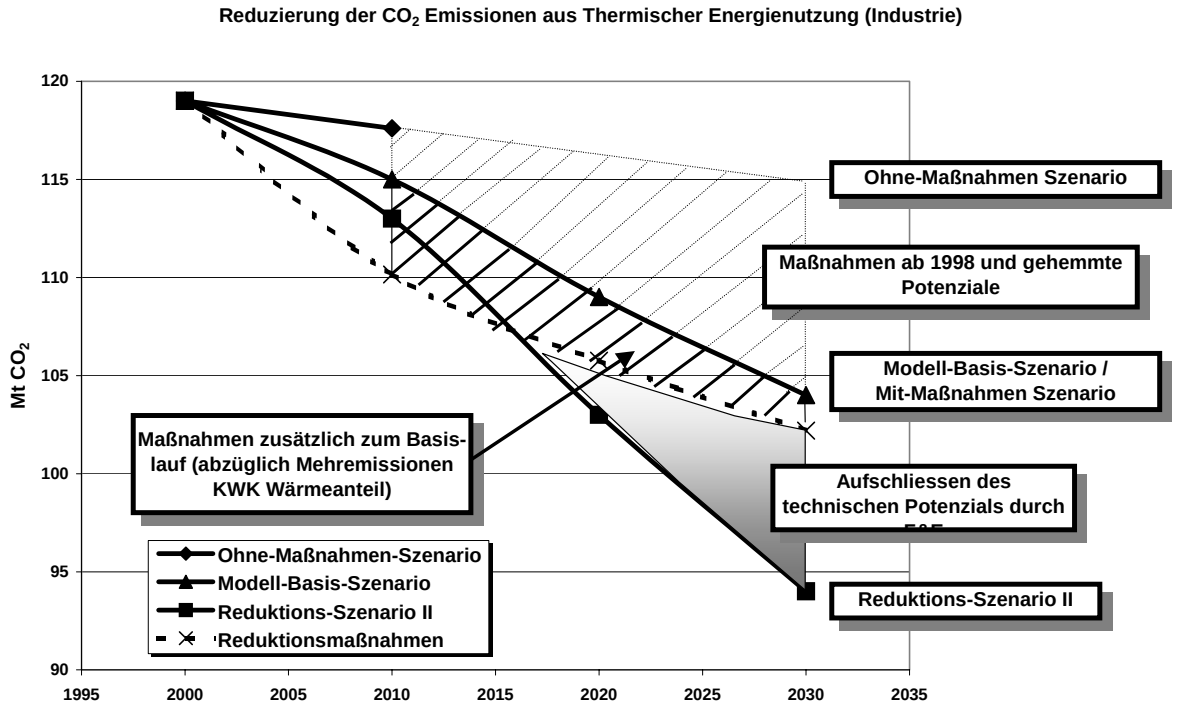
Quellen: basierend auf Enquête-Kommission 2002 sowie Cremer et al. 2003

Da das IKARUS-Optimierungsmodell Hemmnisse rationeller Energienutzung nicht explizit berücksichtigt, werden bereits im Modell-Basislauf mehr Einspartechnologien einsetzt, als bei Berücksichtigung von Hemmnissen zu erwarten wäre. Abbildung 5.2-2 und Abbildung 5.2-3 fassen diese Sachverhalte für die thermische Nutzung der Energie und den Strom zusammen. Bei der Wärme muss auch ein Teil des heutigen technischen Potenzials durch verstärkte Forschung und Entwicklung aufgeschlossen werden, um die gesamte Reduktion des Reduktionsszenarios II zu erzielen (das Reduktionsszenario I unterscheidet sich nur wenig vom Modell-Basislauf und wurde daher in der Grafik nicht berücksichtigt). Wärmeseitig ist aber zu be-

rücksichtigen, dass KWK durch die gewählte Konvention die Emissionen der Industrie erhöht, während die Reduktion der Emissionen durch KWK dem Strom, also dem Umwandlungssektor, zugeschrieben werden. Beim Strom decken die Bottom-up-Potenziale sowohl die vom IKARUS-Modell zusätzlich ermittelten Reduktionsmaßnahmen ab als auch gehemmte Potenziale, die bereits im Basislauf aufgenommen wurden, sowie autonomen Fortschritt bei der Energieeffizienz.

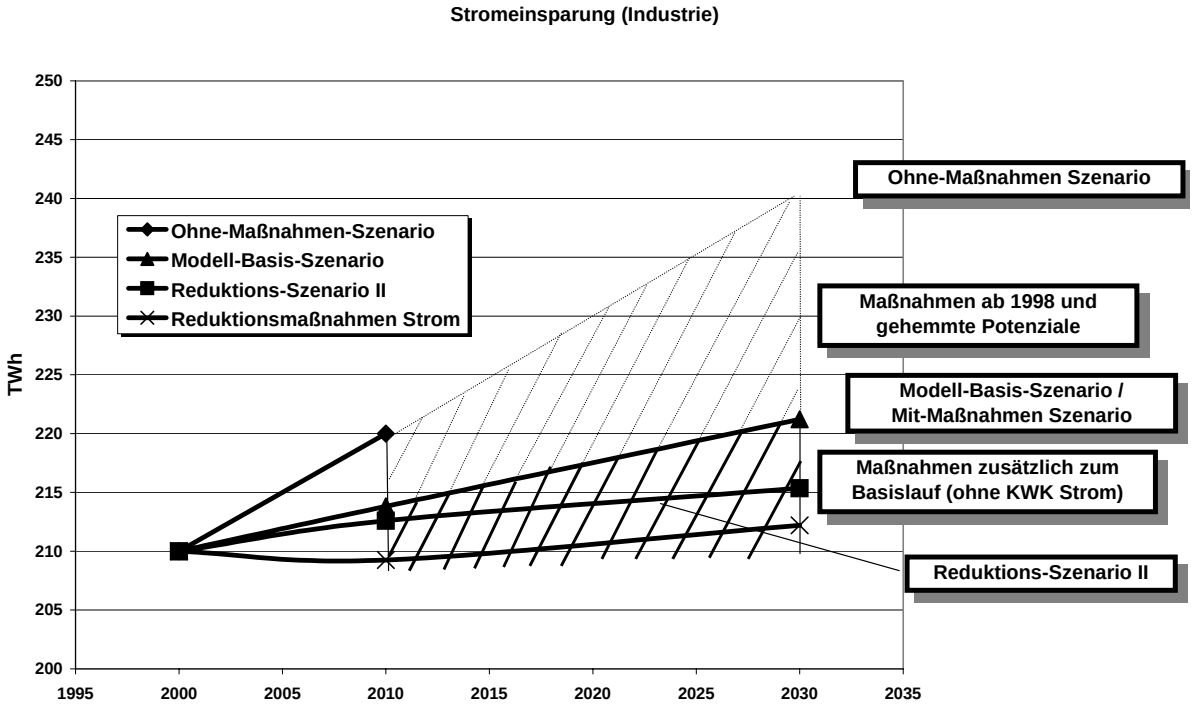
Die durch die Bottom-up-Analyse ermittelten Potenziale gehen stromseitig noch deutlich über die Maßnahmen hinaus, welche durch das Modell ausgewählt wurden. KWK-Strom ist in Abbildung 5.2-3 nicht berücksichtigt (da im Umwandlungssektor bilanziert) und könnte zu einer weiteren deutlichen Absenkung um 40 TWh führen. Eine Unsicherheit besteht allerdings bei der Bestimmung der Referenz einschließlich der gehemmten Potenziale (leicht gestricheltes Feld in den beiden Abbildungen).

Abbildung 5.2-2 Wirkungen der Maßnahmen zur Reduzierung von direkten energiebedingten CO_2-Emissionen im Industriesektor



Als Fazit könnten bis 2030 wesentliche Teile der Potenziale insbesondere bei den industriellen Querschnittstechnologien durch mit der EU koordinierte Programme realisiert werden. Beim Strom könnten diese Teile eines alle Endverbrauchssektoren abdeckenden nationalen Programms der rationellen Stromnutzung sein.

Abbildung 5.2-3 Wirkungen der Maßnahmen zur Reduzierung von Strom im Industriesektor (ohne KWK-Strom)



5.2.4 Ausblick auf den Zeitraum bis 2050

Eine Reihe von jüngsten Publikationen zu den langfristigen Energie- und Materialeffizienzpotenzialen in Industrieländern (IPCC 2002, Jochem u.a. 2002, Williams et al. 2000) kommen zu dem Ergebnis, dass noch weitere Potenziale der Energie- und Materialeffizienz sowohl durch technische Neuerungen als auch durch organisatorische und unternehmerische Innovationen in den kommenden Jahrzehnten erschließbar sein werden. Diese sind sowohl für den Industrie- als auch für den GHD-Sektor relevant. Auch Reduktionen des Energieverbrauchs durch eine Verbesserung der Material- und Produkteffizienz sind längerfristig von zunehmender Bedeutung und sollten daher im Zusammenhang mit den langfristigen Energieeffizienzpotenzialen betrachtet werden. Die nachfolgenden Überlegungen gelten daher sowohl für die Industrie als auch für den GHD-Sektor (Kapitel 5.3) sowie für die in dieser Untersuchung noch separat betrachtete Materialeffizienz (Kapitel 5.6). Als wesentliche langfristige Energie- und Materialeffizienzpotenziale lassen sich nennen:

- Im Bereich der *Geschäfts-, Büro und Fabrikations-Gebäude* nicht nur im Neubau ein Wärmebedarf bei 30 kWh/m^2 a und darunter, sondern auch im Gebäudebestand (jüngst realisiert im Wohngebäude-Bestand durch die Ludwigshafener Wohnungsbaugesellschaft);

um diese Potenziale zu heben, wird es hilfreich sein, bald mit einem ähnlichen Initialprojektprogramm, wie es im Wohnungsgebäudebestand durch die jüngsten Initiative der Bundesregierung (BMVBW), angeregt durch den Nachhaltigkeitsrat, durchgeführt wird. Gegenüber dem Bestand entspricht diese Zielsetzung einer Reduktion des Energiebedarfs um einen Faktor von fünf und mehr, beim Neubau um einen Faktor zwei.

- Im Bereich der *Haustechnik* (Lifts, Lüftung, Klimatisierung, Beleuchtung) sind Effizienzpotenziale zwischen 40 % und 80 % zu erwarten. Steuerung und Regelung (einschließlich Bremsstrom-Rückspeisung ins Netz, drehzahl-variable hocheffiziente Elektromotoren, anwesenheitsorientierte Steuerung) spielen hierbei eine bedeutende Rolle. Diese Bereiche sind sehr gut geeignet für das Contracting, daher dürften in 20 – 30 Jahren hier in professioneller Weise die Re-Investitonen getätigt und die Anlagen betrieben werden.
- Im Bereich der *industriellen Prozesse* werden vor allem die Prozess-Substitutionen eine große energiesparende Rolle spielen, z.B. physikalisch-chemische oder biotechnologische Prozesse anstelle von thermischen Trenn- und Syntheseprozessen, verbesserte mechanische Trocknung (Impuls-Trocknung oder Tensid-Zugabe) anstelle thermischer Trocknung, bessere Abstimmung und Kombination verschiedener Verfahren (auch elektrotechnischer Verfahren). Diese neuen Verfahren würden den heutigen spezifischen Energiebedarf um einen Faktor 2 bis 5 reduzieren (Radgen/Tönsing 1996). Hier wären von Seiten von Forschung und Entwicklung die Potenziale am ehesten zu erschließen.
- Viele *energieintensive Prozesse werden heute in kleinen und mittleren Betreiben* noch in einschichtigem Betrieb genutzt. Durch intensivere Nutzung von Lohnaufträgen zwischen den Firmen wäre es möglich, einen Teil dieser energieintensiven Prozesse im Zwei- oder Dreischicht-Betrieb zu fahren. Dadurch würden Anfahr- und Abfahrverluste vermieden und die spezifischen Kapitalkosten der Produktionsanlagen deutlich verringert. Dies wiederum würde es erlauben, noch besser ausgerüstete Anlagen mit geringerem Energiebedarf zu finanzieren. Um diese Potenziale zu heben, wären zunächst Analysen erforderlich, um geeignete Industrie-Prozesse zu identifizieren.
- Im *Materialbereich* dürften viele der heute auf petrochemischer oder metallischer Basis hergestellten Werk- und Kunststoffe im kommenden Jahrzehnten auf der Basis von Bio-Masse möglich werden (Hüsing u.a. 2003); bis 2050 könnte auf diese Weise der nicht-energetische Verbrauch halbiert werden.

Insgesamt kommt die sehr umfangreiche Analyse zur 2000 Watt Gesellschaft zu dem Ergebnis, dass die Verminderung des Pro-Kopf Energiebedarfs um zwei Drittel trotz eines weiteren Wirtschaftswachstums um etwa 80 % bis Mitte dieses Jahrhunderts nicht völlig auszuschließen ist, sondern bei gezielter Forschung, Entwicklung und Innovationspolitik durchaus realisiert werden könnte (Jochem u.a. 2002). Bei einer Halbierung der spezifischen CO_2–Emissionen durch Einsatz von erneuerbaren Energien wären die hochgesteckten Ziele der ersten Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ (1991), die Treibhausgase bis 2050 um etwa 80 % gegenüber 1987 zurückzuführen, durchaus vorstellbar und nicht von vornherein als unrealisierbar zu qualifizieren.

Literatur zu Kapitel 5.2

AGEB (AG Energiebilanzen) (2002): Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990 bis 2001. Stand: September 2002. Berlin, Köln

AGFW Arbeitsgemeinschaft Fernwärme e.V. (2000): Pluralistische Wärmeversorgung - Strategien und Technologien einer pluralistischen Fern- und Nahwärmeversorgung in einem liberalisierten Energiemarkt unter besonderer Berücksichtigung der Kraft-Wärme-Kopplung und der regenerativen Energien, Frankfurt a.M.: AGFW

AGFW Arbeitsgemeinschaft Fernwärme e.V. (2001): Strategien und Technologien einer pluralistischen Fern- und Nahwärmeversorgung in einem liberalisierten Energiemarkt unter besonderer Berücksichtigung der Kraft-Wärme-Kopplung und der regenerativen Energien, Band 1, Grundlagen der Kraft-Wärme-Kopplung, Zertifizierungsverfahren und Fördermodelle, Frankfurt a.M.: AGFW

Cremer, C. et al.(2003): Der Einfluss moderner Gerätegenerationen der Informations- und Kommunikationstechnik auf den Energieverbrauch in Deutschland bis zum Jahr 2010 – Möglichkeiten zur Erhöhung der Energieeffizienz und zur Energieeinsparung in diesen Bereichen. Untersuchung des Fraunhofer ISI, Karlsruhe und des CEPE, Zürich, im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit. Karlsruhe, Zürich: Januar 2003 (www.isi.fraunhofer.de)

DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, ISI Fraunhofer-Institut Systemtechnik und Innovationsforschung, ZSW Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (2002): Struktur und Entwicklung der zukünftigen Stromversorgung Baden-Württembergs, Studie im Auftrag des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg, Stuttgart, Karlsruhe: DLR/ISI/ZSW

Enquête Commission, E. (1991), Protecting the earth - a status report with recommendations for a new energy policy, Bonner University Press, Bonn.

Geiger, B.; Wittke, F. (2003): Die energiewirtschaftlichen Daten der Bundesrepublik Deutschland, in: BWK Bd. 55 (2003) Nr. 1 / 2, S. 56-63

Hüsing, Bärbel; Angerer, Gerhard; Gaisser, Sibylle; Marscheider-Weidemann, Frank (2003): Biotechnologische Herstellung von Wertstoffen unter besonderer Berücksichtigung von Energieträgern und Biopolymeren aus Reststoffen. Forschungsbericht FKZ 200 66 301. UBA-Texte 64/03. Umweltbundesamt. Berlin, September 2003.

IPCC (2001), Climate Change 2001 - Mitigation: Contribution of Working Group III to TAR of the IPCC, Cambridge University Press, Cambridge

Jochem, E., Favrat, D., Hungerbühler, K., Rudolf von Rohe, P. Spreng, D., Wokaun, A., Zimmermann, M. (2002): Developing a White Paper on Research & Development of Energy-Efficient Technologies

Motiva Oy (2003): Energy conservation agreements. Progress review 2002. Motiva Oy, Helsinki, February 2003 (www.motiva.fi)

Radgen, P.; Blaustein, E. (Eds.) (2001): Compressed Air Systems in the European Union. Energy, Emissions, Savings Potential and Policy Actions. Stuttgart: LOG_X Verlag

Radgen, P.; Tönsing, E.(1996): Energieeinsparmöglichkeiten im Industriebereich in Europa bis zum Jahr 2050. Endbericht**.** Untersuchung für das Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW), Mannheim. Karlsruhe: FhG-ISI,

Rentz, O.; Fichtner, W.; Frank, M.; et al. (2002): Entwicklung eines regionalen Energiemanagement-Konzeptes und Anwendung auf die TechnologieRegion Karlsruhe, Endbericht eines Forschungsvorhaben gefördert durch das BMBF, Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP) der Universität Karlsruhe (TH), Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT), Engler-Bunte-Institut, Bereich Gas, Erdöl, Kohle (EBI) der Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe: IIP

Williams, R.(2000): Advanced Energy Supply Technologies. Chapter 8 in: World Energy Assessment. UNDP/WEC/UNDESA New York, 2000

5.3 Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (Fraunhofer ISI)

Im Jahr 2001 entfiel auf den GHD-Sektor ein Anteil von rund 16 % am Endenergieverbrauch in Deutschland (AGEB 2002). Damit rangiert dieser Bereich deutlich hinter den übrigen Endverbrauchssektoren. Über 60 % des Brennstoffbedarfs in diesem Sektor entfällt dabei auf die Raumwärme, gut ein Viertel auf die Prozesswärme (Tabelle 5.3-1). Beim Strom ist der Bereich mechanische Energie am bedeutsamsten, gefolgt von der Beleuchtung und der Prozesswärme.

Tabelle 5.3-1 Struktur des Endenergieverbrauch im GHD-Sektor nach Anwendungszwecken 2001

Anwendungszweck	Kohle, Mineralöle, Gase	Fernwärme	Strom	Endenergie insgesamt
Prozesswärme	25,4%	10,4%	21,7%	23,2%
Raumwärme	62,1%	89,6%	8,9%	48,2%
Mech. Energie	12,2%	0	38,9%	19,3%
Beleuchtung	0,3%	0	22,8%	7,0%
IuK	0	0	7,6%	2,3%
Summe	100 % **(958 PJ)**	100 % **(115 PJ)**	100 % **(460 PJ)** **(128 TWh)**	100 % **(1532 PJ)**

Quelle: Geiger/Wittke 2003

Im Folgenden werden die verschiedenen Szenarien, die im Rahmen dieser Untersuchung für den GHD-Sektor gerechnet wurden, diskutiert sowie politische Maßnahmen zur Realisierung der in den Reduktionsszenarien errechneten Einsparpotenziale abgeleitet. Auf Grund der Anwendungsstruktur innerhalb des GHD-Sektors gibt es dabei sowohl Bezüge zu den für den Haushaltssektor vorgeschlagenen Maßnahmen (insbesondere im Hinblick auf die Raumwärme) als auch zum Industriesektor (Prozesswärme, mechanische Energie).

5.3.1 Referenz-Szenario und Modell-Basis-Szenario für den Sektor GHD

Tabelle 5.3-2 zeigt den Energieverbrauch nach Energieträgern und CO_2–Emissionen im modifizierten Referenz- und im Modell-Basis-Szenario im GHD-Sektor. Die Energieverbrauchswerte und Emissionen im Jahr 2000 weichen insofern deutlich voneinander ab, als die Verbrauchsmengen im Referenzszenario der Enquête-Kommission den tatsächlichen Werten entsprechen, während diejenigen des Modell-Basis-Szenarios auf ein Normaljahr temperatur-

bereinigt wurden. Da das Jahr 2000 rund 15 % wärmer als das Normaljahr (bezogen auf ein 30-jähriges Mittel) war, fällt der temperaturbereinigte Verbrauch, bedingt durch den hohen Raumwärmeanteil des GHD-Sektors, deutlich höher aus als der tatsächliche Verbrauch.

Tabelle 5.3-2 Energieverbrauch nach Energieträgern und CO_2–Emissionen im Sektor GHD: Modifiziertes Referenz-Szenario und Modell-Basis-Szenario

	1990	2000	2010	2020
Energieverbrauch (PJ)	**Modifiziertes Referenz-Szenario**			
Insgesamt	**1702**[1)]	**1472**[1)]	**1518**	**1511**
Mineralöle	602	440	386	362
Gase	301	463	505	492
Steinkohlen	32	9	4	1
Braunkohlen	252	0	0	0
Fernwärme	122	114	123	119
Strom	388	443	494	525
Sonstige	5	3	5	11
	Modell-Basis-Szenario			
Insgesamt		**1610**[2)]	**1599**	**1522**
Mineralöle		484	374	394
Gase		520	545	486
Kohlen		8	43	11
Strom		464	476	490
Fernwärme		132	159	140
Sonstige		3	0	0
	Direkte CO_2–Emissionen in Mio. t			
Mod. Referenz-Szenario	96[3)]	65[3)]	58	55
Modell-Basis-Szenario	96[3)]	65[3)]	65	60
	Veränderung der CO_2–Emissionen gegenüber 1990			
Mod. Referenz-Szenario		-32,3 %	-39,6 %	-42,7 %
Modell-Basis-Szenario		-32,3 %	-32,4 %	-37,1 %

1) Ist-Werte, nicht temperaturbereinigt
2) Energieverbrauch temperaturbereinigt auf Normaljahr
3) Emissionen temperaturbereinigt; tats. Werte: 1990: 90,1; 2000: 59,2

Auch in der weiteren Entwicklung bis 2020 weisen die beiden Szenarien Unterschiede auf. Diese Unterschiede sind auf einen nicht vollständig harmonisierten Satz an Rahmenbedingungen sowie Unterschiede in der technischen und ökonomischen Charakterisierung der abgebildeten Technologien und in der Architektur der Modellstrukturen zurückzuführen. Insbesondere die angestrebte Harmonisierung der Rahmenbedingungen war im GHD-Sektor nur

ansatzweise möglich, weil die im Referenzszenario der Enquête-Kommission unterstellten Rahmenbedingungen im GHD-Sektor nicht eindeutig zu bestimmen waren.

Der wesentliche Unterschied zwischen Referenz- und Modell-Basis-Szenario liegt in der Schnelligkeit, mit der der in beiden Szenarien zu verzeichnende Rückgang der direkten CO_2–Emissionen erreicht wird. Während im Referenzszenario der stärkste Rückgang bereits bis 2010 zu verzeichnen ist, bleiben die Emissionen im Modell-Basis-Szenario zwischen 2000 und 2010 nahezu konstant. Im Jahr 2020 liegen die Emissionen im Modell-Basis-Szenario noch um rund 5 Mio. t. höher als im modifizierten Referenz-Szenarios (Tabelle 5.3-2).

5.3.2 Diskussion der Reduktionsszenarien sowie politische Maßnahmen zu ihrer Realisierung

Die Ergebnisse der Reduktionsszenarien des IKARUS-Modells zeigen, dass im Reduktions-Szenario I die zusätzliche CO_2-Emissionsminderung gegenüber dem Modell-Basis-Szenario im GHD-Sektor relativ gering ist (Tabelle 5.3-3). Im Jahr 2010 liegen die CO_2–Emissionen sogar geringfügig über denen im Modell-Basis-Szenario. Im Reduktions-Szenario II steigt der Beitrag hingegen nach 2010 deutlich. Im Jahr 2030 sind die CO_2–Emissionen im Reduktions-Szenario II um knapp 16 Mio. t oder um 29 % niedriger als im Modell-Basis-Szenario.

Tabelle 5.3-3 CO_2–Emissionen im Modell-Basis-Szenario und in den beiden Reduktionsszenarien im Sektor GHD

	2010	**2020**	**2030**
	Direkte CO_2–Emissionen in Mio. t		
Modell-Basis-Szenario	65	60	55
Reduktions-Szenario I	66	58	52
Reduktions-Szenario II	63	53	39
	Abweichung gegenüber Modell-Basis-Szenario in Mio. t		
Reduktions-Szenario I	+1,0	2,5	3,1
Reduktions-Szenario II	1,7	6,9	15,7
	Abweichung gegenüber Modell-Basis-Szenario in %		
Reduktions-Szenario I	+1,5 %	-4,1 %	5,7 %
Reduktions-Szenario II	2,6 %	11,5 %	28,6 %

Analog zur Entwicklung der direkten CO_2–Emissionen geht in allen Szenarien auch der Brennstoffverbrauch im GHD-Sektor deutlich zurück, während der Stromverbrauch bis 2020 weiter ansteigt (Tabelle 5.3-4). Damit nimmt auch in allen Szenarien der Stromanteil am End-

energieverbrauch im GHD-Sektor weiter zu, am stärksten im Reduktions-Szenario II (von unter 30 %auf über 36 %).

Tabelle 5.3-4 Endenergieverbrauch nach Energieträgern im Sektor GHD im Modell-Basis-Szenario sowie in den Reduktions-Szenarien I und II

Angaben in PJ	2000	Modell-Basis-Szenario			Reduktions-Szenario I			Reduktions-Szenario II		
		2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030
Mineralöl	484	374	394	303	367	386	262	364	312	160
Gas	520	545	486	521	581	454	522	538	501	460
Kohle	8	43	11	8	39	11	8	39	0	0
Strom	464	476	490	462	476	490	460	476	490	478
Fernwärme	132	159	140	140	135	180	172	147	180	200
Sonstige	3	0	0	0	0	0	9	3	9	9
Summe	1610	1599	1522	1434	1598	1522	1432	1568	1492	1307

Auch für den GHD-Sektor hat die Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“ (2002) die bestehenden Energieeinsparpotenziale umfassend dargestellt sowie einige Erschließungsmöglichkeiten aufgezeigt. Dabei wurde auf weitere Studien zurückgegriffen, die sich mit technischen und verhaltensbedingten Einsparpotenzialen im GHD-Sektor befassen (u.a. Geiger/Gruber/Megele 1999; Böde et al. 2000; Cremer/Kleemann et al. 2001), so dass ein relativ umfassendes Gesamtbild dieses Sektors gegeben wird. Verglichen mit dem Industriesektor ist die Quantifizierung von Einsparpotenzialen im GHD-Sektor jedoch deutlich schwieriger. Dies liegt vor allem an der sehr heterogenen Zusammensetzung dieses Sektors sowie an der sehr schlechten Datenlage hinsichtlich des Energieverbrauchs und wichtiger verbrauchsbestimmender Größen (vgl. dazu Diekmann et al. 2000). Auch eine klare Unterscheidung von brennstoff- und strombedingten Einsparpotenzialen ist dadurch nur schwer möglich.

Im Enquete-Bericht werden Potenziale für folgende Bereiche unterschieden: Gebäudeheizung (Nicht-Wohngebäude), mechanische Anwendungen (insbesondere Kraftstoffe in der Landwirtschaft sowie Stromanwendungen, v.a. Elektromotoren), thermische Anwendungen, sonstige Stromanwendungen (v.a. Beleuchtung, IuK). In Tabelle 5.3-5 werden die dort beschriebenen *thermischen und stromseitigen CO_2-Reduktionspotenziale* zusammenfassend dargestellt.

Im Hinblick auf Maßnahmen zur Realisierung der dargestellten Einsparpotenziale im GHD-Sektor kann für *Querschnittstechnologien* elektrischer (Pumpen, Ventilatoren, Druckluft, sonstige Elektromotoren, Beleuchtung, IuK) und thermischer (Dampf- und Heißwassererzeu-

ger) Art auf die entsprechenden Maßnahmen in der Industrie verwiesen werden (siehe Kapitel 5.2.2).

Tabelle 5.3-5 Energieeinsparpotenziale im GHD-Sektor (Brennstoffe und Strom)

	Verbrauch 1998/99 PJ	Technisches Potenzial PJ	%	Wirtschaftliches Potenzial PJ	%
Gebäudeheizung (Nicht-Wohngebäude)[1)]				***Gewichtet: ca. 15 Mio. t CO2***	
- Verbesserung der Gebäudehülle	756,0	453,6	60%	165,0	22%
- BHKWs	756,0	558,0	74%	132-302	17-40%
- Lüftung und Klimatisierung	498,0			249-349	50-70%
Mechanische Anwendungen	314,0	62,8	20%		
- Kraftstoffe (Landwirtschaft, Militär)	135,0	35,6	26%	20,3	15%
		3,4 Mio. t CO2		1,9 Mio. t CO2	
- Elektromotoren	179,0	27,2	15%	17,3	10%
Thermische Anwendungen	369,0	81,1	22%	37	10%
(Prozesswärme, Warmwasser)		7,9 Mio. t CO2		3,6 Mio. t CO2	
Beleuchtung (einschliesslich Strassenbeleuchtung)	105,0	80,9	77%	59	56%
IuK (Büro-Endgeräte u. Infrastruktur 2001)	35,0	8,8	25%	5	15%
Thermisches Potenzial gesamt				**ca. 20,5 Mio. t CO2**	
Strompotenzial gesamt				**31 TWh**	

1) inkl. Nicht-Wohngebäude in der Industrie.

Quellen: Enquete-Kommission 2002; Abschätzungen Fraunhofer ISI

Im *Gebäudebereich* ist für Neubauten in Zukunft insbesondere die neue EU-Direktive zur Energieeffizienz in Gebäuden[132] relevant. Diese sieht insbesondere im Turnus von 5 Jahren eine Verschärfung der geltenden Anforderungen vor. Außerdem sind zunehmend strombezogene Gebäudefunktionen in die Verordnung einzubauen. Für den Gebäudebestand wären beispielsweise freiwillige Selbstverpflichtungen und Energie-Audits für öffentliche und ggf. auch private Nicht-Wohngebäude eine Möglichkeit zur stärkeren Ausschöpfung der Potenziale. Im Hinblick auf Energieeinspar-Maßnahmen an der Gebäudehülle und im Heizungsbereich sei an dieser Stelle auf die entsprechenden Ausführungen zum Haushaltssektor verwiesen (Kapitel 5.4.1). Neben den in Tabelle 5.3-5 aufgeführten Potenzialen durch tatsächliche Reduzierung des Energiebedarfs sind für die CO_2–Minderung auch die Energieträgersubstitution, der Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (BHKW, Brennstoffzellen) sowie der Einsatz regenerativer Energiequellen wichtige Optionen.

Als eine generelle Maßnahme bieten sich speziell für KMU im GHD-Sektor (und auch in der Industrie) *Contracting- oder Betreibermodelle* an, um mehrere Hemmnisse der rationellen Energienutzung zu überwinden, die vor allem bei kleineren Betrieben oft gemeinsam auftreten: geringe energietechnische Kenntnisse, wenig Information und Marktüberblick über Mög-

[132] Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2002 zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden.

lichkeiten zur rationellen Energienutzung, fehlende Finanzmittel oder andere Investitionsprioritäten, zu wenig Zeit für die Beschäftigung mit Energiefragen im Betriebsalltag und Befürchtung möglicher Risiken hinsichtlich Funktionsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit neuer Techniken. Ein externes Fachunternehmen kann Planung, technische Ausführung und Finanzierung beispielsweise einer Heizanlage übernehmen; die Rückzahlung erfolgt durch die eingesparten Energiekosten. Möglich ist auch, dass der Betrieb einschließlich Wartung und Instandhaltung vom Contractor übernommen wird. Diese Modelle werden von den Betrieben nur zögernd angenommen, am ehesten noch von größeren Unternehmen, Kommunen und Landesverwaltungen. Kleinere Betriebe können sich oft nicht vorstellen, dass Dritte in ihren Betrieben tätig werden und Teile ihrer Einrichtung, z. B. der Heizraum oder der Wärmeerzeuger, in deren Eigentum übergehen, es sei denn, überzeugende Wirtschaftlichkeitsnachweise für solche Lösungen wären gegeben. Kommunen würden ein Betreibermodell im Prinzip akzeptieren, wenn sie nicht selbst über ausreichend Fachleute für den Anlagenbetrieb verfügen. Allerdings präferieren sie als Contractor häufig ihren lokalen Energieversorger, aber nur wenige Versorgungsunternehmen bieten derartige Dienstleistungen an. Für die meisten Contracting-Anbieter kommen infolge der hohen Akquisitions- und Transaktionskosten eher größere Projekte und damit größere Betriebe und Einrichtungen als Kunden in Betracht. Bei kleineren Kunden sind eine Standardisierung und die Konzentration auf weit verbreitete Querschnittstechnologien für den Anbieter erforderlich. In Frage kommen z. B. Wärmeerzeuger (Heizkessel), kleine Heizkraftanlagen, Kälteerzeugung und Beleuchtung.

Über die in Tabelle 5.3-5 dargestellten Maßnahmen zur Erschließung von Einsparpotenzialen bei thermischen Anwendungen hinaus könnte auch die *Energieträgersubstitution* im GHD-Sektor (ohne Substitution zum Strom) bis 2030 einen relativ großen Beitrag zur CO_2–Reduzierung von ca. 5 Mio. t CO_2 leisten, bedingt durch einen deutlichen Rückgang des Ölanteils zu Gunsten von den Gasen, die bis 2030 einen Anteil am Brennstoffbedarf im GHD-Sektor von über 70 % erreichen können (siehe Tabelle 5.3-4 im Reduktionsszenario II).

Darüber hinaus existieren auch im GHD-Sektor Potenziale zur Reduktion der CO_2–Emissionen durch *Kraft-Wärme-Kopplung (KWK).* Tabelle 5.3-6 enthält eine grobe Abschätzung dieser Potenziale, die deutlich niedriger ausfallen als im Industriesektor. Die dabei zu Grunde gelegten Annahmen entsprechen denen für die Industrie (siehe Abschnitt 5.2.2.3). Auch die Maßnahmen, die zu einer vollständigen Ausschöpfung dieser Potenziale beitragen können, wurden dort beschrieben und haben auch für den GHD-Sektor Gültigkeit.

5.3.3 Fazit und Ausblick 2050

Auch für die in Tabelle 5.3-5 aufgeführten thermischen und stromseitigen Einsparpotenziale wird angenommen, dass zumindest die wirtschaftlichen Potenziale durch die oben beschriebenen Maßnahmen bis 2030 vollständig und bis 2020 teilweise ausgeschöpft werden können. Tabelle 5.3-6 fasst die daraus resultierenden Einsparpotenziale für die direkten CO_2-Emissionen und den Strom im GHD-Sektor zusammen.

Tabelle 5.3-6 Zusätzliches Reduktionspotenzial der energiebedingten CO_2– Emissionen im GHD-Sektor (direkte und stromseitige Emissionen)

Technologiebereich	2020	2030
Thermische Nutzung der Energie	–8,2 Mio. t CO_2	–20,5 Mio. t CO_2
Elektrische Nutzung der Energie	–20,7 TWh	–31,0 TWh
Industrielle KWK (ohne KWK-Strom)[1)]	Wärme: –16 TWh ca. +0,3 Mio. t CO_2 Strom: –11,8 TWh –2,3 Mio. t CO_2	Wärme: –27 TWh ca. +0,5 Mio. t CO2 Strom: –19,4 TWh –4,5 Mio. t CO_2

1) Veränderungen der Wärme-CO_2-Emissionen werden dem GHD-Sektor zugerechnet, Veränderungen stromseitig dem Umwandlungssektor. Der positive Wert bei den CO_2 Emissionen wärmeseitig ist auf die Wahl der Aufteilung des KWK Brennstoffeinsatzes nach Strom- und Wärmeanteil zurückzuführen, welche die Wärme benachteiligt und damit die Einsparung durch KWK weitgehend dem Umwandlungssektor zuordnet.

Analog zum Industriesektor zeigen Abbildung 5.3-1 und Abbildung 5.3-2, inwieweit durch die oben dargestellten Bottom-up-Potenziale und entsprechende Maßnahmen zu ihrer Ausschöpfung die im Reduktionsszenario II gegenüber dem Modell-Basis-Szenario errechneten Einsparungen erreicht werden können. Bei der Wärme kann mit den dargestellten Einsparmaßnahmen sowie einem relativ hohen Reduktionsbeitrag der Brennstoffsubstitution (5 Mio. t CO_2) gerade die gesamte Reduktion des Reduktionsszenarios II erzielt werden, obwohl die KWK durch die gewählte Konvention die Emissionen des GHD-Sektors noch leicht erhöht. Beim Strom decken die Bottom-up-Potenziale sowohl die vom IKARUS-Modell zusätzlich ermittelten Reduktionsmaßnahmen ab, als auch gehemmte Potenziale, die bereits im Basislauf aufgenommen wurden, sowie autonomen Fortschritt bei der Energieeffizienz. Die durch die Bottom-up-Analyse ermittelten Potenziale gehen wie bei der Industrie stromseitig noch deutlich über die Maßnahmen hinaus, welche durch das Modell ausgewählt werden. KWK-Strom ist in Abbildung 5.3-2 nicht berücksichtigt und könnte zu einer weiteren Absenkung um knapp 20 TWh führen.

Abbildung 5.3-1 Wirkungen der Maßnahmen zur Reduzierung von direkten energiebedingten CO_2-Emissionen im GHD-Sektor

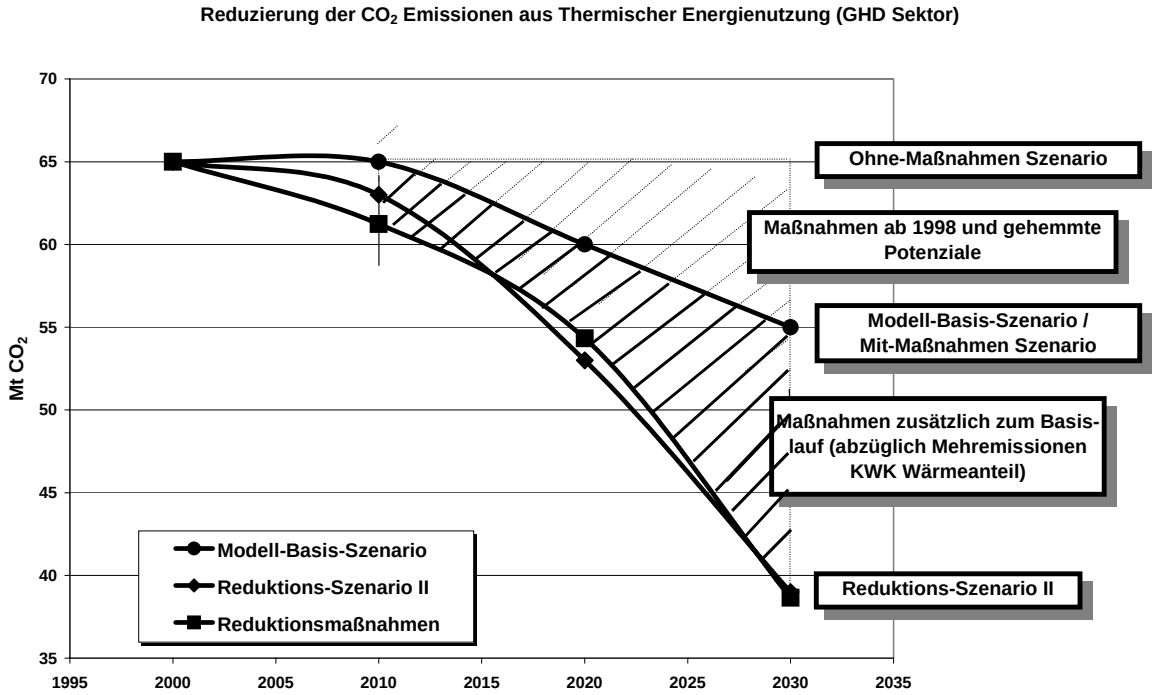
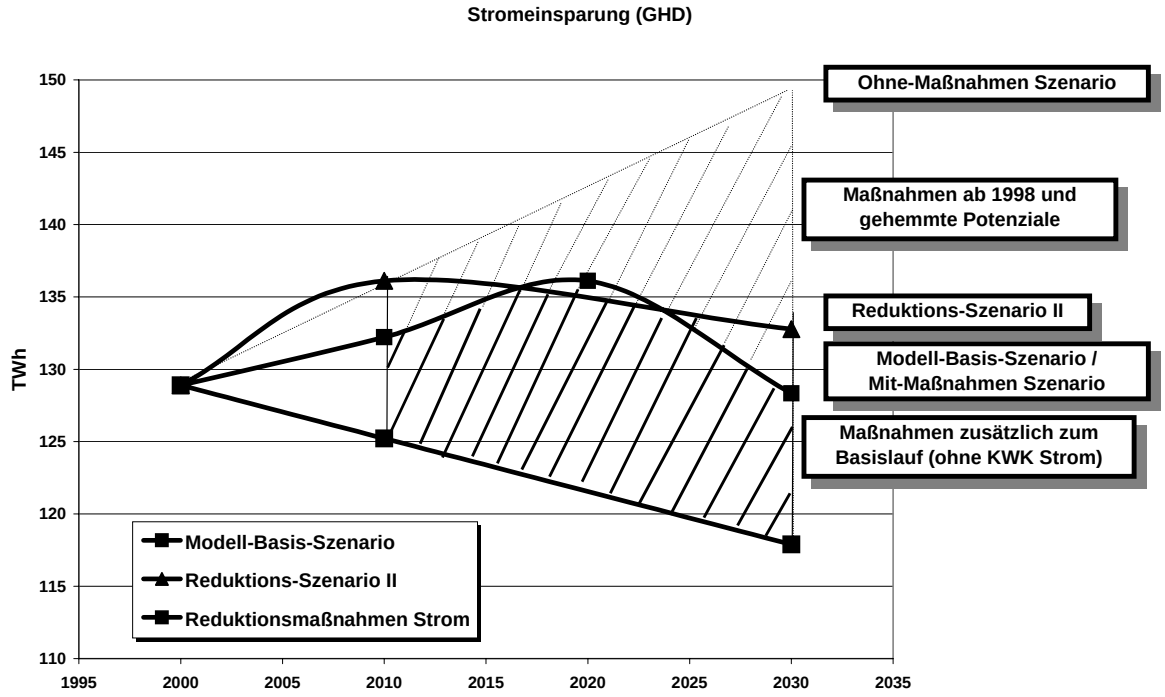


Abbildung 5.3-2 Wirkungen der Maßnahmen zur Reduzierung von Strom im GHD-Sektor (ohne KWK Strom)



Für die weitere Entwicklung bis zum Jahr 2050 sei auf die entsprechenden Ausführungen in Abschnitt 5.2.4 verwiesen, die auch für den GHD-Sektor Gültigkeit haben. Auf Grund des

hohen Raumwärmeanteils ist hier insbesondere die konsequente Ausschöpfung der langfristig existierenden Einsparpotenziale im Gebäudebereich relevant.

Literatur zu Kapitel 5.3

AGEB (AG Energiebilanzen) (2002): Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990 bis 2001. Stand: September 2002. Berlin, Köln

Böde, U. et al. (2000): Klimaschutz durch Minderung der Treibhausgasemissionen im bereich der Haushalte und Kleinverbrauch durch klimagerechtes Verhalten. Band 2: Gewerbe, Handel, Dienstleistungen. Karlsruhe, München: Fraunhofer ISI, TUM

Cremer, C., Kleemann, M., et al. (2001): Systematisierung der Potenziale und Optionen. Endbericht an die Enquête-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und Liberalisierung“ des Deutschen Bundestages, Fraunhofer ISIS u. Forschungszentrum Jülich, Karlsruhe/Jülich, Juli 2001

Cremer, C. et al.(2003): Der Einfluss moderner Gerätegenerationen der Informations- und Kommunikationstechnik auf den Energieverbrauch in Deutschland bis zum Jahr 2010 – Möglichkeiten zur Erhöhung der Energieeffizienz und zur Energieeinsparung in diesen Bereichen. Untersuchung des Fraunhofer ISI, Karlsruhe und des CEPE, Zürich, im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit. Karlsruhe, Zürich: Januar 2003 (www.isi.fraunhofer.de)

Diekmann, J. et al. (2000): Erarbeitung kostengünstiger Erhebungsformen zur Erfassung des effektiven Energieverbrauchs im Bereich Haushalte und Kleinverbraucher. Abschlussbericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. Berlin, Karlsruhe, München: DIW Berlin, Fraunhofer ISI, TUM

Enquete-Kommission Nachhaltige Energieversorgung (2002): Abschlussbericht. Berlin, Juli 2002 http://www.bundestag.de/gremien/ener/schlussbericht/index.htm

Geiger, B.; Wittke, F. (2003): Die energiewirtschaftlichen Daten der Bundesrepublik Deutschland, in: BWK Bd. 55 (2003) Nr. ½, S. 56-63

Geiger, B., Gruber, E., Megele, W. (1999): Energieverbrauch und Einsparung in Gewerbe, Handel und Dienstleistung. Heidelberg: Physica-Verlag

5.4 Haushalte

5.4.1 **Raumwärme und Warmwasser** (STE/FZ Jülich)

Szenariovereinbarungen

Im hier behandelten „Reduktions-Szenario I“ für den Haushaltssektor wird eine Minderung der energiebedingten, direkten CO_2-Emissionen bis zum Jahr 2020 um 30 % und bis zum Jahr 2030 um 40 % relativ zum Jahr 1990 unterstellt.

Für das „Reduktions-Szenario II“ wird bis 2020 eine Minderung von 40% und bis 2030 von 50 % gefordert.

5.4.1.1 Maßnahmen im „Reduktionsszenario I“

Minderungsmaßnahmen

Die Analyse des Szenarios erfolgt mit den in Kapitel 3.4.1.2 beschriebenen Methoden und Instrumenten.

Es wird eine stringentere Klimaschutzpolitik unterstellt, die mit weiter reichenden Vorschriften aber auch mit stärkeren Anreizen und schärferen Kontrollen die Einsparpotenziale vollständig ausschöpft. Ziel dieses Szenarios ist es eine deutlich stärkere CO_2-Reduktion als im „Mit-Maßnahmen-Szenario“ zu erreichen. Dies soll durch folgende Maßnahmen erreicht werden:

Verbesserung des Vollzuges: dies zielt auf die Umsetzung einer Sanierungseffizienz im Altbaubereich von 100 % und einen Vollzug der Verordnungen im Neubaubereich von ebenfalls 100 %. Um dies zu erreichen, ist eine Vielzahl von technischen, wirtschaftlichen, administrativen und ordnungsrechtlichen Hemmnissen abzubauen:

- Verschärfte Vollzugskontrollen. Diese Aufgabe können behördliche Vertreter, private Gutachter und speziell ausgebildete Handwerker übernehmen. Zu den Letzteren gehören u.a. Schornsteinfeger, die sich zunehmend als Energieberater betätigen. Sie sind neutral und kennen die Gebäude und Heizungsanlagen, da sie jedes Jahr ins Haus kommen und dadurch das Vertrauen der Mieter und Eigentümer genießen.
- Zwingend notwendiger Wärmepass für alle Gebäude und Beratung der Hochverbraucher mit einer Aufforderung zur Sanierung. Für die Beratung ist ein Finanzierungsmodell zu entwickeln. Optionen hierzu sind Gebührenumlagen, Eigenbeteiligungen, Förderungen und Rückerstattungen durch die später beauftragten Sanierungsfirmen.

- Stärkere ordnungsrechtliche Eingriffe in den Bestand. Hier muss behördlicherseits stärker die Initiative ergriffen werden. Der derzeitige z.T. in den Bundesländern erkennbare Trend, die Sanierung und deren Vollzug immer mehr in die Eigenverantwortung des Gebäudebesitzers zu legen, muss umgekehrt werden.
- Verbesserung der Zusammenarbeit zwischen Bund und Ländern mit dem Ziel einer besseren Harmonisierung der Maßnahmen und eines koordinierteren Vorgehens.
- Lösung des Mieter-Vermieter-Dilemmas.
- Wirkungsvollere und breitere Förderprogramme. Wobei verschiedene Optionen wie zinsverbilligte Kredite, Steuererleichterungen und Zuschüsse bereitgestellt werden sollten, damit sowohl Eigentümer mit Fremdkapital als auch mit Eigenkapital einbezogen werden. Die Förderung sollte stärkere Anreize bieten als die heutigen Programme und nach Qualität der Sanierung differenziert sein (Bartholmai 2000, WWF 1999, Bundesinitiative jetzt).
- Andauernde Informations- und Motivationsprogramme für einen besseren Vollzug bei allen Akteuren (Planer, Architekten, Handwerker und Eigentümer/Nutzer).

Effizientere Anlagentechniken: Dies betrifft den Wärmeerzeuger, die Regelung und die Verteilung. Beispiele hierfür sind:

- Die verstärkte Nutzung der hocheffizienten Brennwerttechnik (insbesondere im Altbaubereich)
- Bessere Abstimmung der Verteilung im Altbaubereich auf den erneuerten Wärmerzeuger, und Einsatz verbrauchsarmer Heizungspumpen.
- Zunehmender Einsatz von verbesserten bzw. automatisierten Regelungssystemen. Hier sind insbesondere im Altbaubereich noch zusätzliche Potenziale zu erschließen, wie die Untersuchung von Kraft et al. 2002 zeigt.
- Information und Fortbildung zum Themenbereich „effizientere Techniken“ bei allen Akteuren.

Verstärkte Nutzung regenerativer Energieträger für die Wärmeerzeugung: Dies betrifft insbesondere die Solarnutzung für die Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung und dort wo es möglich und sinnvoll ist die Biomassenutzung. Insbesondere bei der Solarthermie wird eine starke Forcierung unterstellt.

Verschärfung der Verordnung: In den letzten 30 Jahren sind die Bestimmungen für den Wärmeschutz im Gebäudebereich fünfmal, d.h. durchschnittlich alle sechs Jahre, verschärft worden. Dabei hat sich der mittlere zulässige Heizwärmeverbrauch etwa um den Faktor fünf verringert. Obwohl der Spielraum für zusätzliche Einsparungen inzwischen klein geworden ist, existieren noch weitere Möglichkeiten. Die derzeit in Schweden geltende Baunorm von 1990 hat gegenüber der EnEV z.B. im Neubaubereich im Mittel 40 % bis 45 % niedrigere Wärmeübergangskoeffizienten (außer Fenster). Trotz der in Schweden häufig praktizierten Holzbau-

weise, bei der sich das Gebäude leichter dämmen lässt als bei der Steinbauweise, kann man davon ausgehen, dass auch bei uns noch weitere über die EnEV hinausgehende Sparpotenziale bestehen. In diesem Zusammenhang sind die verschiedenen Untersuchungen und Empfehlungen zum 3-Liter Haus zu nennen (BASF 2001, www.3-Liter-Wohnhaus.de, TU Dresden).

Information und Motivation: Dies zielt auf ein energiebewussteres Nutzerverhalten aufgrund von Motivations- und Informationsprogrammen. Dazu gehört auch die Image-Verbesserung der Altbausanierung. So wissen viele Bürger recht genau was ihr Auto auf 100 Kilometern braucht, kennen aber nicht den spezifischen Verbrauch ihres Hauses. Durch ein klimagerechtes Verhalten sind z.T. beachtliche Potenziale erschließbar (UBA 2000).

Rechenparameter für das „Reduktionsszenario I“

Aus den vorstehenden Maßnahmen werden für das „Reduktionsszenario I“ die folgenden Rechenparameter abgeleitet:

- Bestandsveränderungen in Form von Neubauten und Abrissen werden wie im „Mit-Maßnahmen-Szenario“ (s. Kapitel 3.4) berücksichtigt.
- Die Wärmedämmung der Gebäudehülle erfolgt nach der Energieeinsparverordnung von 2002 (EnEV) bis 2010. Danach wird für den Neubau eine weitere Verschärfung der Anforderungen um 25 % angenommen.
- Für den Vollzug im Neubaubereich werden 100 % zugrunde gelegt.
- Bei der Sanierung der Altbauten wird mit einer Sanierungseffizienz von 100 % gerechnet.
- Die Vollzugshäufigkeit wird auf eine Rate von 2 % pro Jahr gesetzt, was einem mittleren Renovierungszyklus von 50 Jahren entspricht. Dabei wird unterstellt, dass die energetische und bauliche Sanierung gleichzeitig durchgeführt werden, um Kosten zu sparen.
- Die Heizungserneuerung wird mit den beim „Mit-Maßnahmen-Szenario“ beschrieben Erneuerungszyklen berechnet, ohne die Berücksichtigung von Abschlägen.
- Es werden zunehmend verbesserte Brennwertkessel eingesetzt, so dass ab 2020 nur noch dieser Kesseltyp vorhanden ist.
- Für die Warmwasserbereitung werden bis 2030 drei Viertel des technischen Potenzials für den Gebäudebestand ausgeschöpft. Das technische Potenzial der solaren Warmwasserbereitung liegt bei rund zwei Dritteln des gesamten Bedarfs. Dies entspricht etwa 125 PJ an Endenergie (Wärme aus den Kollektoren). Im Jahr 2000 betrug die installierte Kollektorfläche etwa 2,8 Mio. m². Unter den klimatischen Verhältnissen mit einer jährlichen Einstrahlung von rund 1 000 kWh/m² lassen sich bei einem Systemnutzungsgrad von 35 % mit dieser Fläche rund 3,5 PJ an Wärme erzeugen. Die jährliche Zubaurate lag im Jahr 2000 nach verschiedenen Quellen zwischen 600 000 m² und 800.000 m² Kollektorfläche.

Unterstellt man eine mittlere Wachstumsrate für die jährlichen Zubauten von 20 % bis 2010 und ab dann ein lineares Wachstum, dann wird bis 2030 bei Berücksichtigung einer Lebensdauer von 20 Jahren eine Kollektorfläche von 100 Mio. m² erreicht. Das jährliche Zubauvolumen muss sich bis 2030 gegenüber 2000 um den Faktor 20 vergrößern. Die dann erzielte Wärmemenge liegt bei 125 PJ.

- Energieträgerstruktur wie für das Mit-Maßnahmen-Szenario beschrieben, allerdings mit einem deutlich größeren Anteil an Solarenergie.

5.4.1.2 Das „Reduktions-Szenario II“

Die Forderungen des Reduktions-Szenarios, die CO_2-Emissionen um 40 % bis 2020 und um 50 % bis 2030 zu reduzieren, sind im Gebäudebereich im Rahmen der normalen Renovierungszyklen nicht umsetzbar, wenn bauliche und energetische Sanierung zusammen ausgeführt werden sollen.

Unterstellt man einen Renovierungszyklus von rund 50 Jahren, dann werden pro Jahr 2 % des Bestandes saniert. In etwa 15 Jahren, d.h. bis 2020, sind das 30 % des Bestandes. Nach den derzeitigen Verordnungen wird der Energieverbrauch bei der Sanierung im Mittel bestenfalls um 50 % reduziert. Schreibt man diese Randbedingungen bis 2020 fort, dann werden 15 % eingespart, als weniger als die Hälfte der gewünschten Einsparrate von 40 % ist.

Um bis 2020 eine Reduktion von 40 % zu bekommen, müssten ab sofort alle Sanierungen Nullenergiehausniveau erreichen, was weder technisch noch wirtschaftlich umsetzbar ist. Oder es müsste eine erhebliche Menge an energetischen Sanierungen vorgezogen werden, bevor die technische Lebensdauer der Bauteile abgelaufen ist. Des Weiteren müssten gleichzeitig alle Neubauten als Nullenergiehäuser gebaut werden. Da dies aus politischen und wirtschaftlichen gründen unrealistisch ist, wird das Reduktions-Szenario II im Rahmen dieser sektoralen Betrachtungen für den Raumwärme- und Warmwasserbereich der Haushalte nicht weiter behandelt.

5.4.1.3 Anmerkungen zur Vergleichbarkeit der sektoralen Analysen mit den Optimierungsrechnungen

Der Haushaltssektor wird im Rahmen der Optimierungsrechnungen in Kapitel 4 als einer der Untersektoren des gesamten Energiesystems mit untersucht. Der methodische Ansatz ist dort jedoch anders als bei der hier durchgeführten sektoralen Analyse. Darüber hinaus ist die hier eingesetzte Datenbasis für den Gebäudesektor sehr viel umfassender und detaillierter.

Bei den Optimierungsrechnungen wird z.B. das Minderungsziel des „Reduktionsszenarios I“ von 40 % bis 2030 für das gesamte Energiesystem gefordert. Im Rahmen der Optimierung passiert es, dass einige Sektoren über der geforderten Rate von 40 % liegen und andere darunter, aber im Mittel wird der geforderte Wert erreicht.

Tatsächlich zeigen die Optimierungsrechnungen in Kapitel 4, dass die Minderungsrate für den Haushaltssektor von 1990 bis 2030 für das „Reduktionsszenario I“ bei rund 28 % liegt. Die hier ermittelte sektorale Minderungsrate liegt für den gleichen Zeitraum für das „Reduktionsszenario I“ bei rund 38 %. Dabei liegt die Umsetzung des oben aufgeführten Maßnahmenbündels zugrunde. Die absoluten Werte der Energieverbrauchsmengen und der CO_2-Emissionen liegen also niedriger als bei den Optimierungsrechnungen. Eine direkte Vergleichbarkeit ist daher aus methodischen Gründen nicht sinnvoll, was nicht notwendigerweise einen Widerspruch darstellt.

Die besondere Bedeutung der sektoralen Analysen liegt darin, dass sie die verschiedenen Minderungsmaßnahmen im Detail evaluieren und damit gleichzeitig Inputdaten für das Optimierungsmodell liefert.

5.4.1.4 Energieverbräuche und direkte CO_2-Emission bis 2030

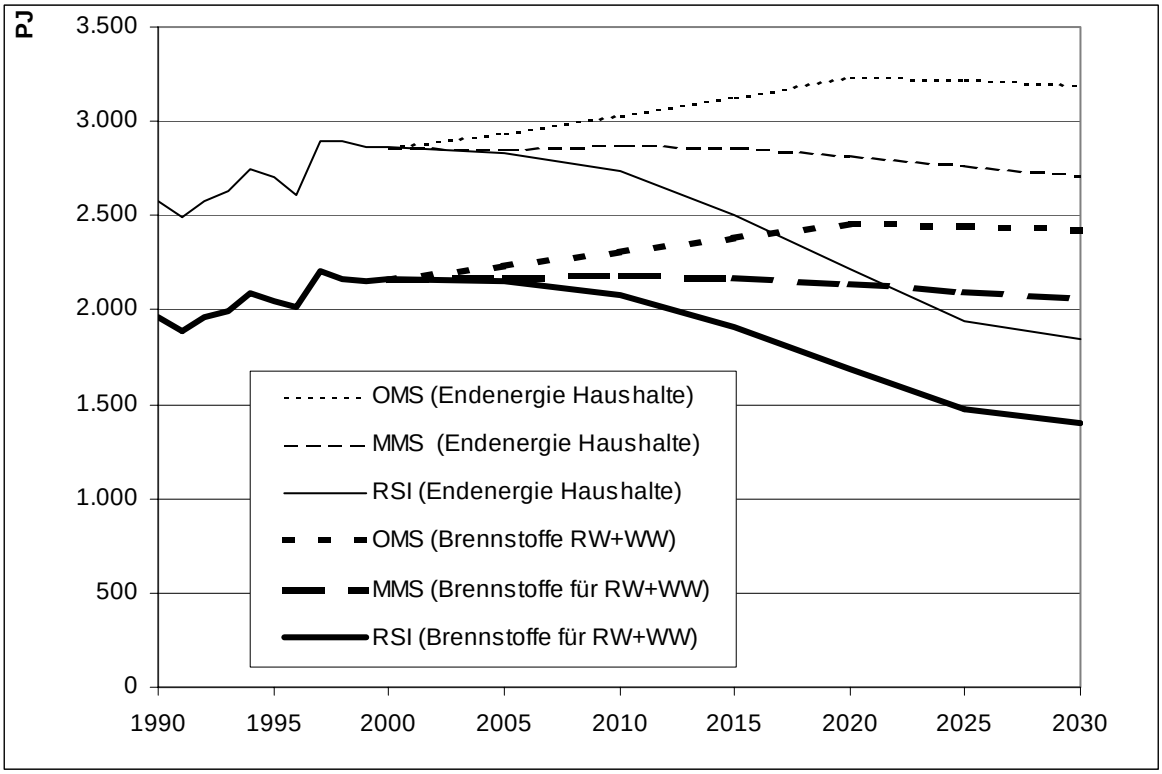
Entwicklung der Energieverbräuche

Tabelle 5.4-1 und Abbildung 5.4-1 zeigen die Entwicklung des Endenergieverbrauches der Haushalte und des Brennstoffbedarfs (ohne Strom und Fernwärme) für Raumwärme und Warmwasser bis 2030. Dabei ist vorausgesetzt, dass es gelingt, die oben beschriebenen Maßnahmen ab 2005 umzusetzen. Da dies eine sehr optimistische Annahme ist, muss die berechnete Entwicklung für das „Reduktionsszenario I“ (RSI) als eine grundsätzliche Obergrenze für die erreichbaren Einsparungen angesehen werden. Der Energieverbrauch fällt im RSI von 1990 bis 2030 um etwa 29 %. Die beiden in Kapitel 3.4 behandelten Szenarien, das „Ohne-Maßnahmen-Szenario“ (OMS) und das „Mit-Maßnahmen-Szemnario“ (MMS) werden hier der Vollständigkeit halber mitgezeigt.

Tabelle 5.4-1 Entwicklung des Endenergieverbrauchs der Haushalte und des Brennstoffverbrauchs für Raumwärme und Warmwasser bis 2030 (temperaturbereinigt)

Szenarien	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	Endenergieverbrauch der Haushalte in 1000 PJ								
OMS	2,58	2,70	2,86	2,94	3,04	3,13	3,23	3,23	3,19
MMS	2,58	2,70	2,86	2,86	2,87	2,86	2,82	2,77	2,72
RSI	2,58	2,70	2,86	2,83	2,73	2,51	2,22	1,95	1,84
	Veränderung gegenüber 1990 in %								
OMS	0	4,7	10,9	13,9	17,7	21,5	25,3	25,0	23,8
MMS	0	4,7	10,9	10,7	11,2	10,9	9,2	7,3	5,4
RSI	0	4,7	10,9	9,8	6,0	-2,9	-13,9	-24,6	-28,7
	Brennstoffverbrauch für Raumwärme und Warmwasse in 1000 PJ								
OMS	1,96	2,05	2,17	2,23	2,31	2,38	2,46	2,45	2,43
MMS	1,96	2,05	2,17	2,17	2,18	2,17	2,14	2,10	2,07
RSI	1,96	2,05	2,17	2,15	2,08	1,90	1,69	1,48	1,40
	Veränderung gegenüber 1990 in %								
OMS	0	4,7	10,4	13,9	17,7	21,5	25,3	25,0	23,8
MMS	0	4,7	10,4	10,7	11,2	10,9	9,2	7,3	5,4
RSI	0	4,7	10,4	9,8	6,0	-2,9	-13,9	-24,6	-28,7

Abbildung 5.4-1 Entwicklung des Endenergieverbrauchs der Haushalte und des Brennstoffverbrauchs für Raumwärme und Warmwasser bis 2030 (temperaturbereinigt)



Entwicklung der direkten CO_2-Emissionen

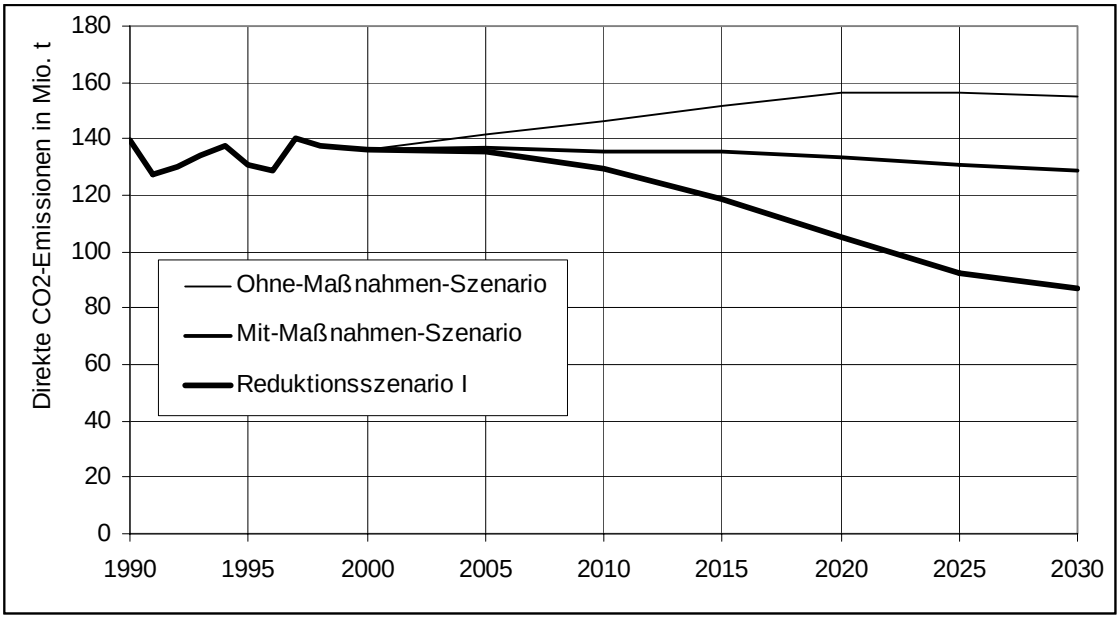
Die CO_2-Emissionen aufgrund des Brennstoffverbrauchs im Haushaltsbereich sinken von 139 Mio. t im Jahr 1990 auf nur 87 Mio. t bis 2030 (vgl. Tabelle 5.4-2). Die relative Änderung ist größer als beim Energieverbrauch, weil zusätzliche CO_2-Einsparungen durch mehr erneuerbare Energien und durch den Brennstoffwechsel von Kohle und Öl zu Gas entstehen.

Insgesamt wird nach Tabelle 5.4-2 bis 2020 eine relative Einsparung von 25 % erzielt und bis 2030 werden 38 % erreicht. Die im „Reduktions-Szenario I“ angestrebten sektoralen Minderungsraten von 30 % für 2020 und von 40 % für 2030 werden damit knapp verfehlt. Die für das Reduktionsszenario I ermittelten Minderungsraten stellen für den Haushaltssektor die Obergrenze des Erreichbaren dar.

Tabelle 5.4-2 Entwicklung der CO_2-Emissionen der Haushalte bis 2030 (temperaturbereinigt)

Szenario	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	CO2-Emission des Haushaltsektors in Mio. t								
Ohne-Maßnahmen-Szenario	139	131	136	142	147	152	157	156	155
Mit-Maßnahmen-Szenario	139	131	136	137	136	135	133	131	129
Reduktionsszenario I	139	131	136	135	129	119	105	92	87
	Veränderung gegenüber 1990 in %								
Ohne-Maßnahmen-Szenario	0	-6,3	-2,5	1,76	5,15	8,98	12,4	12,2	11,1
Mit-Maßnahmen-Szenario	0	-6,3	-2,5	-2,1	-2,6	-2,9	-4,3	-6	-7,7
Reduktionsszenario I	0	-6,3	-2,5	-2,8	-7,2	-15	-25	-34	-38

Abbildung 5.4-2 Entwicklung der CO_2-Emissionen der Haushalte bis 2030 (temperaturbereinigt)



Literatur zu Kapitel 5.4.1

Bartholmai B. (2000), Energieeinsparung im Wohnungsbestand-Investitionen müssen verstärkt werden, DIW-Wochenbericht 31/2000, Berlin.

BASF (2001), Eine Innovation in der Altbaumodernisierung, Das 3-Liter-Haus, LUWOGE BASF Gruppe, Ludwigshafen.

"jetzt" - Bundesinitiative für Altbau-Modernisierung und besseren Klimaschutz, www.initiative-jetzt.de

Kleemann M. et al.(2000), Die Entwicklung des Wärmemarktes für den Gebäudesektor bis 2050, Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt, Band 23.

Kraft A., Kleemann M., Kollmann H., Einsparpotenziale, Wirtschaftlichkeit und Perspektiven vernetzter Gebäude, HLH Bd. 53 (2002) Nr. 11 November.

TU Dresden (2002), Zukünftige Energieeinsparkonzepte im Wohnungsbau, Institut für Thermodynamik und Technische Gebäudeausrüstung, Studie im Auftrag von BGW, DVGW, IWO, VDZ, Dresden.

UBA (2000), Klimaschutz durch Minderung von Treibhausgasemissionen im Bereich Haushalte und Kleinverbrauch durch klimagerechtes Verhalten, von Öko-Institut, UFO-PLAN Forschungsbericht 204 01 120.

WWF (1999), Perspektiven fürs Klima, Bausteine zur energetischen Modernisierung des Gebäudebestandes, Das Aktionspaket des WWF, Hrsg. Umweltstiftung WWF-Deutschland.

5.4.2 Stromverbrauch in Haushalten (Öko-Institut)

5.4.2.1 Entwicklung des Haushaltsstromverbrauches in den IKARUS-Szenarien

Die Entwicklung detaillierter Politikszenarien bezieht sich auf die Entwicklung des Stromverbrauchs in Haushalten für das Reduktionsszenario I und II des IKARUS-LP-Modells im Vergleich zum entsprechenden Modell-Basis-Szenario (vgl. dazu Kapitel 4). Grundlage dieser IKARUS-Reduktionsszenarien sind Annahmen über Potenziale und Kosten technischer Minderungsmaßnahmen im Bereich des Stromverbrauchs der Haushalte. Mit Hilfe dieses Modells kann abgeschätzt werden, in welchem Umfang solche Minderungsmaßnahmen unter technisch-ökonomischen Gesichtspunkten innerhalb des gesamten Energiesystems erschlossen werden können.

Tabelle 5.4-3 zeigt den entsprechenden Verlauf des Stromverbrauchs in Haushalten von 2000 bis 2030 sowie die prozentuale Abnahme des Stromverbrauches gemäß den Reduktionsszenarien I und II im Vergleich zum Modell-Basis-Szenario.

Tabelle 5.4-3 Stromverbrauch in Haushalten[133] im Modell-Basis-Szenario sowie in den Reduktions-Szenarien I und II (2000 – 2030)

	2000*	2010	2020	2030
	Stromverbrauch in Mrd. kWh			
Modell-Basis-Szenario	133	144	132	116
Reduktionsszenario I	133	143	129	114
Reduktionsszenario II	133	138	118	105
	Änderungen gegenüber 2000 in %			
Modell-Basis-Szenario	0	8	-1	-13
Reduktionsszenario I	0	7	-3	-14
Reduktionsszenario II	0	3	-11	-21
	Abweichungen vom Modell-Basis-Szenario in %			
Reduktionsszenario I	0	-1	-2	-2
Reduktionsszenario II	0	-5	-11	-9
* temperaturbereinigt.				

Quelle: Berechnungen FZJ-STE

Das Reduktionsszenario I zeigt in Tabelle 5.4-3 eine nur sehr geringe Reduktion gegenüber dem Modell-Basis-Szenario (2 % im Jahr 2030), während das Reduktionsszenario II einen deutlich stärkeren Rückgang verzeichnet (9 %).

[133] Einschließlich Warmwasserbereitung sowie Raumheizung (sofern durch Strom bereitgestellt).

5.4.2.2 Vorgehen bei der Entwicklung detaillierter Szenarien für den Stromverbrauch in Haushalten

Die im Rahmen der Modellläufe des IKARUS-LP-Modells bestimmten technisch-ökonomischen Minderungspotenziale sind nur zu erschließen, wenn sie durch entsprechende Politikmaßnahmen adressiert werden. In Abschnitt 5.4.2.2.1 werden deshalb verschiedene Instrumente vorgestellt, die hierfür zur Verfügung stehen. Da es sich um eine Vielzahl möglicher Instrumente handelt, die zum Teil miteinander in Wechselwirkung stehen und mitunter schwer oder nicht quantifizierbar sind, wird eines davon ausgewählt, für das in den Abschnitten 5.4.2.2.2 bis 5.4.2.2.5 Szenarien entwickelt werden, um die entsprechende Wirksamkeit zur Erschließung der Minderungspotenziale zu untersuchen.

Anders als im IKARUS-LP-Modell wird in den hier entwickelten Szenarien der Stromverbrauch in Haushalten geräteschar abgebildet. Um die daraus resultierenden Szenarien besser von denen des IKARUS-LP-Modells unterscheiden zu können, tragen sie andere Bezeichnungen: Referenzszenario, Mit-Maßnahmen-Szenario I und Mit-Maßnahmen-Szenario II.

5.4.2.2.1 Instrumente zur Senkung des Stromverbrauchs in Haushalten

Grundsätzlich kann man Instrumente zur Senkung des Stromverbrauchs nach der Art der Minderungspotenziale unterscheiden. Minderungspotenziale für den Stromverbrauch in Haushalten können durch Nutzung effizienter Techniken, Substitution von Strom durch andere Energieträger oder durch Suffizienz erschlossen werden (UBA 1999 a).

Zur verstärkten Nutzung effizienter Technik in Haushalten kann sowohl auf der Verbraucher- als auch auf der Seite der Produzenten angesetzt werden.

Für den Nutzer ist beim Kauf von elektrischen Haushaltsgeräten der Energieverbrauch nur eines von mehreren Entscheidungskriterien (neben beispielsweise Preis, Qualität, Sonderangeboten oder Passfähigkeit zur bestehenden Einrichtung). Darüber hinaus ist es zum Teil mit hohen Transaktionskosten verbunden, eine hinreichende Marktübersicht im Hinblick auf diese Entscheidungskriterien zu erlangen. ISI, Gfk (2001) weisen darauf hin, dass die Kennzeichnungspflicht des Energieverbrauches (nach EnVKV, siehe Abschnitt 3.4.2.2) in verschiedenen Arten von Geschäften sehr unterschiedlich befolgt wird. Während beispielsweise in Verbrauchermärkten durchschnittlich 77 % der Geräte vollständig gekennzeichnet sind, so sind dies bei Küchenspezialisten und Einrichtungshäusern weniger als 10 %. Zur Erschlie-

ßung der Reduktionspotenziale bei Neugeräten, die sich aus energie- und kostenbewussten Kaufentscheidungen auf Grundlage transparenter Energieverbrauchswerte ergeben, ist es deshalb notwendig, die Einhaltung der Verordnung stärker zu kontrollieren. Des Weiteren ist eine Ausweitung der Kennzeichnungspflicht auf weitere Gerätegruppen sinnvoll sowie die Berücksichtigung von Leerlaufverlusten bei der Kennzeichnung.

Informationskampagnen über Stromeinsparung in Haushalten (beispielsweise „Initiative Energieeffizienz“ (VDEW, VRE, VKU, DENA, DBU, BMWA 2003), Anreizprogramme oder die Bündelung der Nachfrage nach Elektrogeräten über große Beschaffungsstellen können des Weiteren zu einer schnelleren Verbreitung stromeffizienter Geräte in den Haushalten führen.

Eine weitere Möglichkeit zur Reduktion des Stromverbrauchs und zur Verringerung der damit verbundenen CO_2-Emissionen ist die Substitution von Strom durch andere Energieträger. Insbesondere durch die Ersetzung von Strom zur Bereitstellung von Wärmedienstleistungen (Raumwärme, Warmwasser sowie Kochen) durch weniger CO_2-intensive Energieträger (beispielsweise Gas, Fernwärme, Solarthermie) können weitere Minderungspotenziale erschlossen werden.

Im Bereich der Hersteller und Händler kann es freiwillige oder verpflichtende Maßnahmen zur Verbreitung stromsparender Haushaltsgeräte geben. Über Selbstverpflichtungen oder, falls notwendig, über den Verordnungsweg, kann beispielsweise die Kennzeichnung des Stromverbrauchs auf weitere Gerätegruppen ausgeweitet werden (s.o.).

Des Weiteren können Produzenten angehalten werden, die best verfügbare Technik in ihren Produkten zum Einsatz zu bringen. Dabei sollten ebenfalls Leerlaufverluste berücksichtigt werden. Dies kann über die Festlegung einer Obergrenze des spezifischen Verbrauchs für den Betriebsfall und den Leerlauf erfolgen.

Ein Beispiel einer Maßnahme zur Minderung von Leerlaufverlusten ist der sogenannte „1-Watt-Plan“, der von der Internationalen Energieagentur (IEA) entwickelt wurde (UBA 1999 b). Ziel dieses Planes ist es, die Leerlaufverluste von Elektrogeräten in Haushalten und Büros zu reduzieren, wobei 1 Watt als Orientierungsgröße für den maximalen Leerlaufverlust angeführt wird. Dieser Plan umfasst beispielsweise die Forderung, dass alle Geräte mit einem

Ausschalter versehen werden müssen. Der Plan sieht eine Kooperation der Mitgliedsstaaten der IEA mit Herstellern, Handel und Verbraucherverbänden vor.

Die Bewertung der geplanten und bereits ergriffenen Maßnahmen (Abschnitt 3.4.2.2) zeigt, dass noch weitere Maßnahmen notwendig sind, um die Minderungspotenziale im Haushaltsbereich zu erschließen.

Um weitere Minderungspotenziale zu erschließen, ist es notwendig, mehrere Instrumente zu verzahnen. Beispielsweise können Informationskampagnen verbunden mit einer verstärkt durchgesetzten Kennzeichnungspflicht des Stromverbrauchs von Haushaltsgeräten sowie der Festlegung von Mindest-Standard beziehungsweise Maximalverbräuchen dazu führen, dass sich energieeffiziente Haushaltsgeräte schneller durchsetzen.

Wie oben beschrieben, ist es schwierig, insbesondere Maßnahmen, die nicht technisch verbindlich sind (beispielsweise Informationskampagnen oder Kennzeichnungspflicht), auf ihre Wirkung hinsichtlich der Senkung des Stromverbrauchs in Haushalten zu bewerten.

Aus diesem Grund sieht der Ansatz für die hier entwickelten Szenarien zum einen eine politische Intervention bei der Produktherstellung vor, das heißt die Festlegung von Stromverbrauchsstandards. Zum anderen wird für Heizungsumwälzpumpen untersucht, welche Auswirkungen die Kombination von Informationskampagnen, Anreizprogrammen und der Festlegung technischer Standards auf die Erschließung von Minderungspotenzialen haben könnte.

Bei der Erstellung der Szenarien wird die Bereitstellung von Raumwärme sowie Warmwasserbereitung mit Strom nicht detailliert modelliert, da diese bereits in den Abschnitten 3.4.1 und 5.4.1 berücksichtigt wurde. Beleuchtung wird ebenfalls nicht detailliert modelliert.

Da ein großer Teil des Stromverbrauchs in Haushalten von nur wenigen Elektrogeräten verursacht wird, werden hier nur wenige Geräte detailliert betrachtet. Diese umfassen Elektroherde, Kühlschränke und Kühl-Gefrier-Geräte, Gefriergeräte, Waschmaschinen und Waschtrockner, Wäschetrockner, Geschirrspülmaschinen, Fernseher sowie PCs. Für diese Geräte wird vorgeschlagen, über eine Verordnung zur Herstellung elektronischer Haushaltsgeräte Effizienz-Mindeststandards für Neugeräte festzulegen, die im Verlauf der Jahre verschärft werden. Alternativ zu einer gesetzlichen Regelung können freiwillige Vereinbarungen mit der herstellenden Industrie bzw. den Geräteimporteuren erfolgen. Dabei ist jedoch darauf hinzuweisen,

dass die entsprechenden Regelungen vorzugsweise auf EU-Ebene durchzusetzen wären. Für Heizungsumwälzpumpen wird eine Kombination verschiedener Instrumente vorgeschlagen.

Diese Fokussierung auf wenige Geräte birgt die Problematik in sich, dass sich die zukünftige Entwicklung des Bestands von Elektrogeräten in Haushalten nur schlecht vorhersagen lässt. Zum einen kann es zu Verschiebungen im Bestand einzelner Gerätegruppen kommen (Videorekorder werden beispielsweise zunehmend durch DVD-Spieler ersetzt). Zum anderen können gänzlich neue Anwendungen hinzukommen und im Stromverbrauch bestehende Haushaltsgeräte übertreffen. Diese Entwicklung ist jedoch spekulativ und wird hier nicht berücksichtigt. Des Weiteren orientiert sich die Auswahl an Geräten an der Verfügbarkeit von Daten zur Modellierung.

5.4.2.2.2 Grundannahmen für die Szenarien

In dieser Studie werden als Zielbereich der Szenarien diejenigen Geräte vorgesehen, die in Kapitel 3.4.2 als diejenigen mit dem größten Anteil am gesamten Stromverbrauch in Haushalten identifiziert worden sind. Demnach werden Elektroherde, Kühlschränke und Kühl-Gefrier-Geräte, Gefriergeräte, Waschmaschinen und Waschtrockner, Wäschetrockner, Geschirrspülmaschinen, Fernseher, PCs sowie Heizungsumwälzpumpen detailliert betrachtet. Die Entwicklung der übrigen Geräte wird nur zusammenfassend behandelt und für alle Szenarien gleichgesetzt.

Die Grundannahmen für die Szenarien zur Entwicklung des Haushaltsstromverbrauchs bis zum Jahr 2030 basieren im Wesentlichen auf Daten des Endberichtes der Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“ (Enquete-Kommission 2002). Das Basisjahr für alle Szenarien ist 2000.

Der Bestand an Haushaltsgeräten wird durch die Entwicklung der Anzahl der Haushalte und der Ausstattung mit Haushaltsgeräten bestimmt. Die Bestandsentwicklung ist für alle Szenarien gleich. Es wird also angenommen, dass durch die betrachteten Maßnahmen keine ausstattungsrelevanten Effekte entstehen. Es wird prognostiziert, dass die Zahl der Haushalte bis zum Jahr 2020 auf etwa 38,8 Millionen zunehmen und dann bis zum Jahr 2030 wieder auf 38,1 Millionen sinken wird. Tabelle 5.4-4 zeigt die prognostizierte Entwicklung der Ausstattungsraten der Haushalte mit den hier betrachteten Elektrogeräten (mit Ausnahme der Hei-

zungsumwälzpumpen) von 2000 bis 2030. Zahlenwerte über 100% bedeuten, dass durchschnittlich in jedem Haushalt mehr als ein entsprechendes Gerät vorhanden ist.

Tabelle 5.4-4: Ausstattungsraten der Haushalte mit Elektrogeräten (2000 – 2030)

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Gerät	(% aller Haushalte)						
Elektroherd	79	80	82	83	84	84	86
Kühlschrank, Kühl-Gefrier-Gerät	111	115	118	121	125	125	128
Gefrier-Gerät	59	62	63	65	66	66	68
Waschmaschine, Waschtrockner	95	96	97	97	97	97	97
Wäschetrockner	34	42	49	55	60	60	65
Geschirrspüler	50	57	62	65	68	68	70
Fernseher	141	148	155	160	165	165	170
PC	48	64	78	93	106	106	118

Quelle: Enquete-Kommission 2002, Berechnungen Öko-Institut

Der durchschnittliche spezifische Stromverbrauch der Haushaltsgeräte hängt zum einen davon ab, wie die Effizienzentwicklung der Neugeräte voranschreitet. Zum anderen wirkt sich die Nutzungsdauer der Haushaltsgeräte darauf aus, wie schnell Altgeräte ersetzt werden. Die Nutzungsdauer bestimmt so auch die Geschwindigkeit der Effizienzentwicklung des Flottendurchschnitts. Mit Hilfe eines Stock-Exchange-Modells wird der Gerätebestand[134] nach seiner Altersstruktur differenziert betrachtet. Die Entwicklung der Altersstruktur ist in allen Szenarien einheitlich. Ansatzpunkt für die unterschiedlichen Entwicklungen in den Szenarien ist somit der spezifische Stromverbrauch von Neugeräten.

Die „Ausstattung“ mit Heizungsumwälzpumpen wird über die Entwicklung der Wohnfläche abgebildet. Die Entwicklung des Stromverbrauchs für Heizungsumwälzpumpen setzt sich demnach aus der Entwicklung des Stromverbrauchswerts (kWh/(m^2 Wohnfläche)) und der Entwicklung der Wohnfläche zusammen. Tabelle 5.4-5 zeigt die prognostizierte Entwicklung der Wohnfläche von 2000 bis 2030.

[134] Mit Ausnahme der Heizungsumwälzpumpen

Tabelle 5.4-5: Entwicklung der Wohnfläche (2000 – 2030)

2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
(Millionen m^2)						
3.250	3.492	3.733	3.938	4.142	4.186	4.231

Quelle: Enquete-Kommission 2002, Berechnungen Öko-Institut

Die Entwicklung der Leerlaufverluste wird in den Szenarien nicht gesondert abgebildet. Sie wird über die Entwicklung des spezifischen Stromverbrauchs der Geräte berücksichtigt.

5.4.2.2.3 Entwicklung im Referenzszenario

Die Entwicklung des spezifischen Stromverbrauchs der einzelnen Elektrogeräte basiert im Referenzszenario im Wesentlichen auf Daten der Enquete-Kommission (Enquete-Kommission 2002). Für Wäschetrockner sowie Elektroherde wird auf Daten des Energiereports III der Prognos AG (Prognos 2000) zurückgegriffen, da keine entsprechenden Werte in Enquete-Kommission 2002 vorlagen. Es wird angenommen, dass sowohl die Enquete-Kommission 2002 als auch Prognos 2000 die Effekte der geplanten und ergriffenen Maßnahmen in den Prognose-Daten berücksichtigt haben. Tabelle 5.4-6 zeigt den spezifischen Stromverbrauch der betrachteten Elektrogeräte (außer Heizungsumwälzpumpen) von 2000 bis 2030.

Der Strombedarf von Heizungsumwälzpumpen hängt unter anderem von der Bauart der Pumpe, ihrer Dimensionierung sowie der Betriebsweise ab.

Eine Heizungsumwälzpumpe eines Einfamilienhauses kann beispielsweise eine Leistungsaufnahme von 100 W haben. Wird diese durch die sparsamste marktgängige Regelpumpe ersetzt, so wird nur noch eine Leistung von 20 bis 50 W benötigt. Für die Zukunft ist mit der Entwicklung hocheffizienter Pumpen mit einer Leistungsaufnahme von 10 bis 20 W zu rechnen (Impulsprogramm a).

Ist eine Heizungsumwälzpumpe für einen bestimmten Durchfluss beziehungsweise eine bestimmte Wohnfläche oder Anzahl von Wohneinheiten ausgelegt, wird aber lediglich in einem geringeren Umfang eingesetzt (geringere Wohnfläche etc.), so ist sie überdimensioniert und nimmt mehr Leistung auf als im Idealfall benötigt.

Tabelle 5.4-6: Spezifischer Stromverbrauch der betrachteten im Haushalt eingesetzten Geräte im Referenzszenario (Flottendurchschnitt[135]) (2000 – 2030)

Gerät	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	(kWh/(Gerät*a))						
Elektroherd	374	363	354	349	343	339	335
Kühlschrank, Kühl-Gefrier-Geräte	264	236	209	193	178	168	158
Gefrier-Gerät	284	255	226	213	201	182	164
Waschmaschine, Waschtrockner	148	132	115	108	101	99	97
Wäschetrockner	281	265	252	240	229	221	213
Geschirrspüler	217	201	185	178	171	166	162
TV	136	134	132	128	124	123	122
PC	154	160	166	151	136	131	127
	(2000=100)						
Elektroherd	100	97	95	93	92	91	90
Kühlschrank, Kühl-Gefrier-Geräte	100	90	79	73	68	64	60
Gefrier-Gerät	100	90	80	75	71	64	58
Waschmaschine, Waschtrockner	100	89	78	73	68	67	66
Wäschetrockner	100	94	90	85	81	79	76
Geschirrspüler	100	93	85	82	78	76	75
TV	100	99	98	94	91	91	90
PC	100	104	107	98	88	85	82

Quelle: Enquete-Kommission 2002, Prognos 2000, Berechnungen Öko-Institut

Von der Betriebsart der Pumpe hängt der Stromverbrauch ebenfalls maßgeblich ab. Die Pumpe kann zum einen ganzjährig in Betrieb sein oder lediglich während der Heizperiode. Zum anderen ist es möglich, die Betriebszeit der Heizungsumwälzpumpe während der Nacht mit einer Schaltuhr zu reduzieren. Die Einstellung der Drehzahl der Pumpe beeinflusst ebenfalls die Leistungsaufnahme.

Die Bauart, Dimensionierung und Betriebsweise bestimmen also den Stromverbrauch der Heizungsumwälzpumpen in Haushalten. Für die Entwicklung von Szenarien werden die in Tabelle 5.4-7 aufgeführten Situationen betrachtet.

[135] Der spezifische Flottenverbrauch bezieht sich auf den durchschnittlichen spezifischen Verbrauch *aller* vorhandenen Geräte. Dieser umfasst also (alte) Bestandsgeräte wie auch Neugeräte.

Tabelle 5.4-7: Spezifischer Stromverbrauch von Heizungsumwälzpumpen

	Im Vergleich zur Ausgangsituation	Spezifischer Verbrauch (kWh/m^2)
Ursprüngliche Auslegung	100%	5,15
Günstige Dimensionierung und verbesserte Regelung I	75%	3,87
Günstige Dimensionierung und verbesserte Regelung II	50%	2,58
Sparpumpe, optimale Dimensionierung und Regelung	20%	1,03

Quelle: Impulsprogramm a, Impulsprogramm b, Impulsprogramm c, Annahmen Öko-Institut

Der durchschnittliche Stromverbrauch für Heizungsumwälzpumpen lag im Jahr 2000 bei 5,15 kWh/m^2[136]. Tabelle 5.4-7 zeigt, welche Sparpotenziale beim Kauf, der Dimensionierung sowie der Betriebsweise von Heizungsumwälzpumpen erschlossen werden können. Die Kategorien „Günstige Dimensionierung und verbesserte Regelung“ I und II beziehen sich dabei auf Maßnahmen, die an bestehenden Heizungsumwälzpumpen durchgeführt werden. Die Situation „Sparpumpe, optimale Dimensionierung und Regelung“ kann nur bei Austausch der bestehenden Heizungsumwälzpumpe oder bei Neueinbau erreicht werden.

Für das Referenzszenario wird angenommen, dass durch Informationen Hausbesitzer und Hausbauer angeregt werden, ihre Heizungsanlage besser zu regeln beziehungsweise eine Sparpumpe einzubauen. Da es jedoch kein spezielles Anreizprogramm gibt, setzen sich Sparpumpen nur langsam durch und es werden vor allem Maßnahmen zur Dimensionierung und Betriebsweise der Heizungsumwälzpumpen implementiert, die mit einem geringen Aufwand verbunden sind („Günstige Dimensionierung und verbesserte Regelung I“). Tabelle 5.4-8 zeigt die für die Jahre 2000 bis 2030 angenommene Aufteilung von Heizungsumwälzpumpen auf die in Tabelle 5.4-7 aufgeführten Effizienzkategorien und der daraus resultierende durchschnittliche spezifische Stromverbrauch.

[136] Laut BINE 2001 benötigen die Heizungsumwälzpumpen etwa 3,5 % der in Deutschland eingesetzten elektrischen Energie, was im Jahr 2000 16,8 TWh entspricht. Bei einer Wohnfläche in Deutschland von 3250 Mio. m^2 im Jahr 2000 ergibt dies einen durchschnittlichen spezifischen Verbrauch von 5,15 kWh/m^2.

Tabelle 5.4-8: Entwicklung des spezifischen Stromverbrauchs von Heizungsumwälzpumpen im Referenzszenario (2000 – 2030)

Anteil Geräte	2000	2010	2020	2030
Ursprüngliche Auslegung	100%	70%	40%	10%
Günstige Dimensionierung und verbesserte Regelung I	0%	15%	30%	45%
Günstige Dimensionierung und verbesserte Regelung II	0%	10%	20%	30%
Sparpumpe, optimale Dimensionierung und Regelung	0%	5%	10%	15%
Resultierender Stromverbrauch (kWh/m^2)	5,15	4,50	3,84	3,18

Quelle: Annahmen Öko-Institut

5.4.2.2.4 Entwicklung im Mit-Maßnahmen-Szenario I

Das Mit-Maßnahmen-Szenario I sieht die Einführung einer Verordnung vor, die den maximalen spezifischen Stromverbrauch von Neugeräten festlegt[137]. Es wird angenommen, dass die Verordnung im Jahr 2005 in Kraft tritt. Die Entwicklung des zulässigen Stromverbrauchs der Neugeräte orientiert sich an der Effizienzentwicklung in der Vergangenheit. Diese wird in die Zukunft mit einem bestimmten Reduktionsfaktor fortgeschrieben. Der Reduktionsfaktor gibt an, um wie viel die angenommene Effizienzentwicklung in der Zukunft gegenüber der Vergangenheit reduziert wird.

Der Reduktionsfaktor ist 0 %, das heißt die Effizienzentwicklung der Vergangenheit wird in gleicher Weise auf die Zukunft übertragen, sofern der damit ermittelte spezifische Stromverbrauch für 2030 bereits heute vom Bestgerät erreicht wird (Elektroherde) oder wenn es sich um eine sehr moderate angenommene Effizienzerhöhung handelt (Wäschetrockner). Ein Reduktionsfaktor von 50 %, das heißt die Effizienzentwicklung der Vergangenheit wird in der Zukunft nur halb so stark fortgeschrieben, wird in den Fällen angewendet, in denen es physikalische Grenzen der Optimierung gibt (vor allem auf Grund der Wassererwärmung (Waschmaschine/Waschtrockner, Geschirrspüler)) oder in denen zu erwarten ist, dass es Komforteffekte (größere, komfortablere Geräte, verlängerte Jahresnutzungsdauer) gibt, die die Effi-

[137] Ausnahme Heizungsumwälzpumpen.

zienzverbesserung begrenzen (Kühlschrank/Kühl-Gefrier-Geräte, Gefriergeräte, Fernseher, PCs).

Insofern ergeben sich differenzierte Anforderungen in Abhängigkeit von der Art des Gerätes. Tabelle 5.4-9 zeigt die jährliche Effizienzentwicklung der Neugeräte von 1992 bis 1997, den jeweiligen Reduktionsfaktor und die angenommene Effizienzverbesserung für 2000 bis 2030, die diesem Szenario zugrunde liegt. Die damit einhergehenden Verbrauchswerte für *Neugeräte* zeigt Tabelle 5.4-10. [138]

Tabelle 5.4-9: Durchschnittliche jährliche Effizienzentwicklung der Elektrogeräte von 1992 bis 1997, Reduktionsfaktor sowie angenommene Effizienzentwicklung im Mit-Maßnahmen-Szenario I (2000 – 2030)

	1992-1997	Reduktionsfaktor	2000 - 2030
Elektroherd	0,36%	0%	0,36%
Kühlschrank,Kühl-Gefrier-Geräte	3,84%	50%	1,92%
Gefrier-Gerät	2,80%	50%	1,40%
Waschmaschine,Waschtrockner	3,20%	50%	1,60%
Wäschetrockner	0,56%	0%	0,56%
Geschirrspüler	2,75%	50%	1,38%
TV	3,37%	50%	1,68%
PC	3,37%	50%	1,68%

Quelle: Berechnungen Öko-Institut

Wie schnell sich die Verbrauchswerte der Neugeräte auf den Durchschnittsverbrauch aller Geräte auswirken, hängt von der Altersstruktur und der Nutzungsdauer jeder einzelnen Gerätegruppe ab. Für Fernseher beispielsweise ist die gleiche Effizienzverbesserung vorgesehen wie für PCs. Da die Nutzungsdauer von PCs aber deutlich kürzer ist als für Fernseher und somit PCs schneller ersetzt werden als Fernseher, nimmt der durchschnittliche Flotten-

[138] Der erste von der Verordnung festzulegende Wert im Jahr 2005 wurde so gewählt, dass der entsprechende spezifische Stromverbrauch im Jahr 2005 bereits unter dem vergleichbaren Wert des Referenzszenarios lag. Der Energieverbrauchswert der Neugeräte in Tabelle 5.4-10 gibt den durchschnittlichen Stromverbrauch aller verkauften Neugeräte an. Das heißt, es kann sowohl Neugeräte geben, die mehr Strom als in der Tabelle angegeben verbrauchen, als auch solche, die weniger verbrauchen.

verbrauch von PC, relativ gesehen, schneller ab als der von Fernsehern. Tabelle 5.4-11 zeigt den spezifischen *Flottenverbrauch*[139] der Haushaltsgeräte im Mit-Maßnahmen-Szenario I.

Tabelle 5.4-10: Festgelegte Stromverbrauchswerte für Neugeräte im Mit-Maßnahmen-Szenario I (2005 – 2030)

Gerät	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	(kWh/(Gerät*a))					
Elektroherd	335	329	323	317	311	306
Kühlschrank, Kühl-Gefrier-Geräte	150	136	124	112	102	92
Gefrier-Gerät	195	182	169	158	147	137
Waschmaschine, Waschtrockner	110	101	94	86	80	74
Wäschetrockner	200	194	189	184	179	174
Geschirrspüler	160	149	139	130	121	113
TV	120	110	101	93	85	79
PC	144	132	122	112	103	94
	(2000=100)					
Elektroherd	92	90	88	87	85	84
Kühlschrank, Kühl-Gefrier-Geräte	60	55	50	45	41	37
Gefrier-Gerät	85	79	74	69	64	60
Waschmaschine, Waschtrockner	83	77	71	65	60	56
Wäschetrockner	80	78	76	73	71	69
Geschirrspüler	80	74	69	65	60	56
TV	80	73	67	62	57	52
PC	92	84	78	71	65	60

Quelle: Berechnungen Öko-Institut

Für den Stromverbrauch durch Heizungsumwälzpumpen werden im Mit-Maßnahmen-Szenario I gezielte Informationskampagnen sowie Anreizprogramme für Hausbesitzer und Neubauer zur Förderung von Innovationen in der Heizungsanlage vorgesehen. Es wird angenommen, dass sich Sparpumpen mit diesen Maßnahmen doppelt so schnell durchsetzen wie im Referenzszenario. Die günstigere Dimensionierung und verbesserte Regelung II setzt sich bis 2020 ebenfalls doppelt so schnell durch wie im Referenzszenario. Bis 2030 flacht diese Entwicklung etwas ab. Die starke Entwicklung bei Sparpumpen und der günstigen Dimensio-

[139] Der spezifische Flottenverbrauch bezieht sich auf den durchschnittlichen spezifischen Verbrauch *aller* vorhandenen Geräte. Dieser umfasst also (alte) Bestandsgeräte wie auch Neugeräte.

nierung und verbesserte Regelung II führt dazu, dass die Variante „günstigere Dimensionierung und verbesserte Regelung I“ weniger stark wächst als im Referenzszenario. Tabelle 5.4-12 zeigt die für die Jahre 2000 bis 2030 angenommene Aufteilung von Heizungsumwälzpumpen auf die in Tabelle 5.4-7 aufgeführten Effizienzkategorien und der daraus resultierende durchschnittliche spezifische Stromverbrauch.

Tabelle 5.4-11: Spezifischer Stromverbrauch von Elektrogeräten im Mit-Maßnahmen-Szenario I (Flottendurchschnitt) (2000 – 2030)

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	(kWh/(Gerät*a))						
Elektroherd	374	363	351	339	329	323	317
Kühlschrank, Kühl-Gefrier-Geräte	264	233	194	141	129	116	106
Gefrier-Gerät	284	254	219	192	181	168	156
Waschmaschine, Waschtrockner	148	131	119	109	100	92	85
Wäschetrockner	281	261	230	207	193	188	183
Geschirrspüler	217	199	181	161	147	138	128
TV	136	133	131	119	108	99	91
PC	154	156	141	130	119	110	101
	(2000=100)						
Elektroherd	100	97	94	91	88	86	85
Kühlschrank, Kühl-Gefrier-Geräte	100	88	73	53	49	44	40
Gefrier-Gerät	100	90	77	68	64	59	55
Waschmaschine, Waschtrockner	100	89	80	74	68	62	58
Wäschetrockner	100	93	82	74	69	67	65
Geschirrspüler	100	92	83	74	68	63	59
TV	100	98	97	88	80	73	67
PC	100	101	92	84	77	71	65

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts[140]

[140] Die Zunahme des spezifischen Flottenstromverbrauchs bei PCs von 2000 nach 2005 ist dem Berechnungsalgorithmus über das Stock-Exchange-Modell geschuldet.

Tabelle 5.4-12: Entwicklung des spezifischen Stromverbrauchs von Heizungsumwälzpumpen im Mit-Maßnahmen-Szenario I (2000 – 2030)

Anteil Geräte	2000	2010	2020	2030
Ursprüngliche Auslegung	100%	65%	30%	5%
Günstige Dimensionierung und verbesserte Regelung I	0%	5%	10%	15%
Günstige Dimensionierung und verbesserte Regelung II	0%	20%	40%	50%
Sparpumpe, optimale Dimensionierung und Regelung	0%	10%	20%	30%
Resultierender Stromverbrauch (kWh/m^2)	5,15	4,16	3,17	2,44

Quelle: Annahmen Öko-Institut

5.4.2.2.5 Entwicklung im Mit-Maßnahmen-Szenario II

Das Mit-Maßnahmen-Szenario II sieht wie das Mit-Maßnahmen-Szenario I die Einführung einer Verordnung zum Jahr 2005 vor, die den durchschnittlichen Stromverbrauch von Neugeräten festlegt. Anders als im Mit-Maßnahmen-Szenario I entspricht der festgelegte spezifische Stromverbrauch für das Jahr 2005 dem spezifischen Stromverbrauch des *Best-Gerätes* im Jahr 2000 (Tabelle 5.4-13).

Tabelle 5.4-13: Spezifischer Stromverbrauch der Best-Geräte im Jahr 2000

Gerät	**Spezifischer Verbrauch (kWh/(Gerät*a))**
Elektroherd	313
Kühlschrank, Kühl-Gefrier-Geräte	121
Gefrier-Gerät	193
Waschmaschine, Waschtrockner	122
Wäschetrockner	155
Geschirrspüler	124
TV	110
PC	97

Quelle: Enquete-Kommission (2002), Annahmen und Berechnungen Öko-Institut

Die Neuverbrauchswerte in den Folgejahren werden mit der Entwicklung wie im Mit-Maßnahmen-Szenario I fortgeschrieben. Tabelle 5.4-14 sind die für *Neugeräte* festgelegten Höchstverbrauchswerte im Mit-Maßnahmen-Szenario II zu entnehmen.

Tabelle 5.4-14: Festgelegte Energieverbrauchswerte[141] für Neugeräte im Mit-Maßnahmen-Szenario II (2000 – 2030)

Gerät	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	(kWh/(Gerät*a))					
Elektroherd	313	307	302	296	291	285
Kühlschrank, Kühl-Gefrier-Geräte	121	110	100	91	82	75
Gefrier-Gerät	193	180	168	157	146	136
Waschmaschine, Waschtrockner	100	92	85	79	72	67
Wäschetrockner	155	151	147	143	139	135
Geschirrspüler	124	116	108	101	94	88
TV	110	101	93	85	78	72
PC	97	89	82	75	69	64
	(2000=100)					
Elektroherd	86	84	83	81	80	78
Kühlschrank, Kühl-Gefrier-Geräte	49	44	40	37	33	30
Gefrier-Gerät	84	78	73	68	63	59
Waschmaschine, Waschtrockner	76	70	64	59	55	51
Wäschetrockner	62	60	59	57	55	54
Geschirrspüler	62	58	54	50	47	44
TV	73	67	62	57	52	48
PC	62	57	52	48	44	41

Quelle: Berechnungen Öko-Institut

[141] * Der Wert für Waschmaschine/Waschtrockner im Jahr 2005 ist niedriger als in Tabelle 5.4-13 angegeben. Diese Anpassung war notwendig, damit die Verbrauchsstandards im Mit-Maßnahmen-Szenario II stets unter denen des Referenz- und des Mit-Maßnahmen-Szenarios I liegen.
* Der Energieverbrauchswert der Neugeräte gibt hier den durchschnittlichen Stromverbrauch aller verkauften Neugeräte an. Das heißt, es kann sowohl Neugeräte geben, die mehr Strom als in der Tabelle angegeben verbrauchen, als auch solche, die weniger verbrauchen.

Den durchschnittlichen *Flottenverbrauch*[142] zeigt Tabelle 5.4-15.

Tabelle 5.4-15: Spezifischer Stromverbrauch von Elektrogeräten im Mit-Maßnahmen-Szenario II (Flottendurchschnitt) (2000 – 2030)

Gerät	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	(kWh/(Gerät*a))						
Elektroherd	374	361	342	324	309	302	296
Kühlschrank, Kühl-Gefrier-Geräte	264	230	180	114	104	93	86
Gefrier-Gerät	284	254	219	191	180	167	155
Waschmaschine, Waschtrockner	148	130	115	102	91	84	78
Wäschetrockner	281	257	209	173	150	146	142
Geschirrspüler	217	196	166	135	114	107	100
TV	136	132	127	111	99	91	84
PC	154	145	95	88	81	74	68
	(2000=100)						
Elektroherd	100	97	91	86	82	81	79
Kühlschrank, Kühl-Gefrier-Geräte	100	87	68	43	39	35	32
Gefrier-Gerät	100	90	77	67	63	59	54
Waschmaschine, Waschtrockner	100	88	78	69	62	57	53
Wäschetrockner	100	91	74	62	53	52	50
Geschirrspüler	100	90	76	62	53	49	46
TV	100	98	93	82	73	67	62
PC	100	94	62	57	52	48	44

Quelle: Berechnungen Öko-Institut

Für den Stromverbrauch von Heizungsumwälzpumpen sieht das Mit-Maßnahmen-Szenario II eine Einsparverordnung vor, die regelt, dass alle neu installierten beziehungsweise aus Altersgründen auszutauschenden Heizungsumwälzpumpen dem Beststandard („Sparpumpe, optimale Dimensionierung und Regelung“) entsprechen müssen. Es wird davon ausgegangen, dass bis 2040 alle im Jahr 2000 bestehenden Heizungsumwälzpumpen ausgetauscht werden, wobei die Austauschrate linear ist, so dass in jedem Jahr gleich viele Sparpumpen installiert werden. Parallel dazu wird eine Informationskampagne für Hausbesitzer gestartet, die dazu

[142] Der spezifische Flottenverbrauch bezieht sich auf den durchschnittlichen spezifischen Verbrauch aller vorhandenen Geräte. Dieser umfasst also (alte) Bestandsgeräte wie auch Neugeräte.

führt, dass in den Varianten „Günstige Dimensionierung und verbesserte Regelung“ I und II für 2010 und 2020 die gleichen Anteile erreicht werden wie im Mit-Maßnahmen-Szenario I. Für 2030 wird angenommen, dass alle Heizungsanlagen der ursprünglichen Auslegung sowie der Variante „Günstige Dimensionierung und verbesserte Regelung I“ außer Betrieb gegangen sind. Der verbleibende Anteil für 2030 entspricht also Heizungsumwälzpumpen der Variante „Günstige Dimensionierung und verbesserte Regelung II“. Tabelle 5.4-16 zeigt die für die Jahre 2000 bis 2030 angenommene Aufteilung von Heizungsumwälzpumpen auf die in Tabelle 5.4-7 aufgeführten Effizienzkategorien und der daraus resultierende durchschnittliche spezifische Stromverbrauch im Mit-Maßnahmen-Szenario II.

Tabelle 5.4-16: Entwicklung des spezifischen Stromverbrauchs von Heizungsumwälzpumpen im Mit-Maßnahmen-Szenario II (2000 – 2030)

Anteil Geräte	2000	2010	2020	2030
Ursprüngliche Auslegung	100%	61%	7%	0%
Günstige Dimensionierung und verbesserte Regelung I	0%	5%	10%	0%
Günstige Dimensionierung und verbesserte Regelung II	0%	20%	40%	29%
Sparpumpe, optimale Dimensionierung und Regelung	0%	14%	43%	71%
Resultierender Stromverbrauch (kWh/m^2)	5,15	3,98	2,23	1,47

Quelle: Annahmen Öko-Institut

5.4.2.2.6 Vergleich der Szenarien

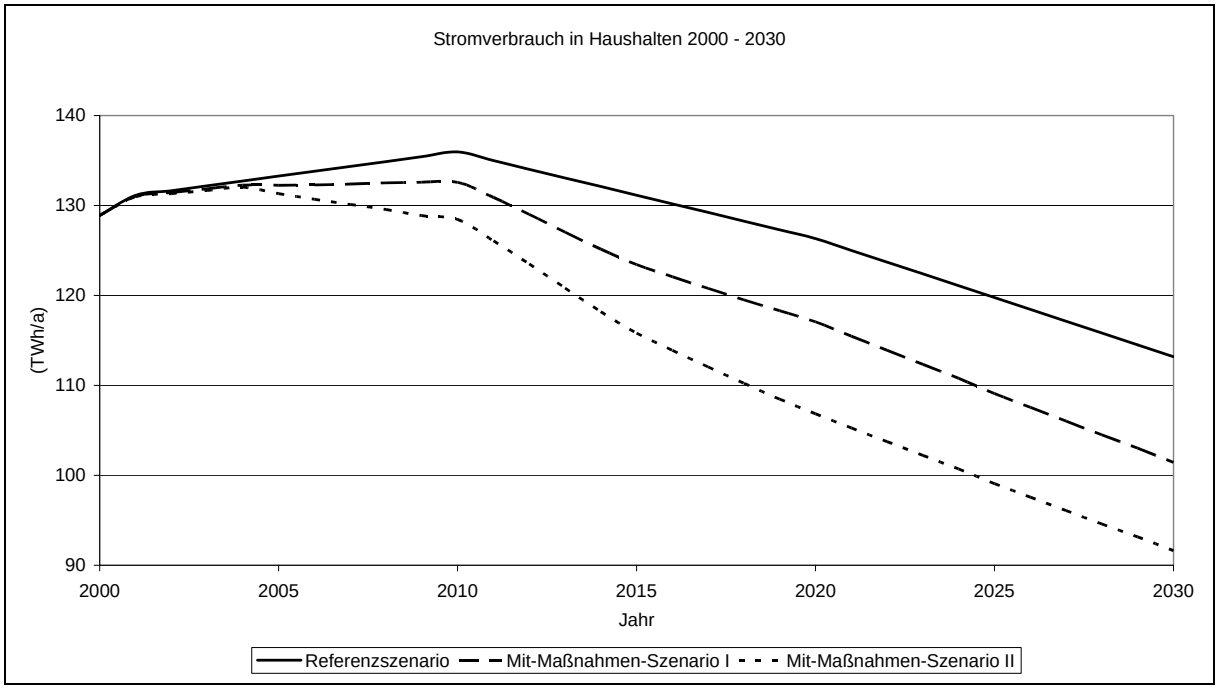
- *Stromverbrauch*

Mit der Festlegung des spezifischen Stromverbrauchs der Elektrogeräte sowie der Heizungsumwälzpumpen und auf Grundlage der Altersstruktur und der Nutzungsdauer kann die Entwicklung des Stromverbrauchs in Haushalten für die verschiedenen Szenarien berechnet werden. Abbildung 5.4-3 zeigt die Entwicklung des Stromverbrauchs von 2000 bis 2030.

Deutlich zu sehen ist zunächst ein Anstieg des Stromverbrauchs bis 2010 und dann ein kontinuierlicher Rückgang bis 2030. Im Mit-Maßnahmen-Szenario II setzt der Rückgang des Stromverbrauchs bereits 2005 ein. Der abnehmende Trend des Stromverbrauchs ist in allen Szenarien ähnlich, die absoluten Werte unterscheiden sich jedoch signifikant. Tabelle 5.4-17

zeigt die absoluten Zahlenwerte sowie die Reduktion der Mit-Maßnahmen-Szenarien I und II im Vergleich zum Referenzszenario.

Abbildung 5.4-3: Stromverbrauch in den Haushalten in den Szenarien (2000 – 2030)



Quelle: Berechnungen Öko-Institut

Tabelle 5.4-17 Stromverbrauch in Haushalten in den Szenarien und Vergleich der Mit-Maßnahmen-Szenarien I und II mit dem Referenzszenario (2000 – 2030)

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
	(TWh/a)						
Referenzszenario	129	133	136	131	126	120	113
Mit-Maßnahmen-Szenario I	129	132	133	123	117	109	101
Mit-Maßnahmen-Szenario II	129	131	128	116	107	99	92
	Relativ zum Referenzszenario						
Mit-Maßnahmen-Szenario I	0%	-1%	-2%	-6%	-7%	-9%	-10%
Mit-Maßnahmen-Szenario II	0%	-1%	-6%	-12%	-15%	-17%	-19%

Quelle: Berechnungen Öko-Institut

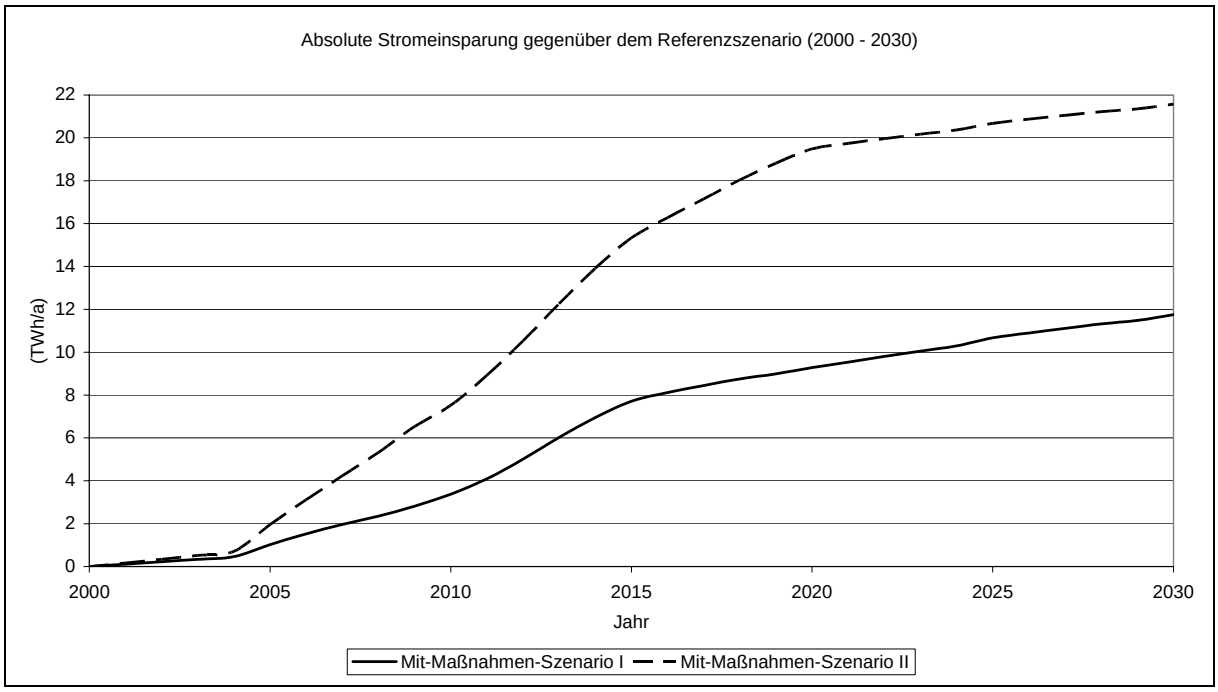
Die Ergebnisse des IKARUS-LP-Modells (Tabelle 5.4-3) unterscheiden sich leicht von den Ergebnissen in Tabelle 5.4-17 beim Stromverbrauch im Jahr 2000. Dies liegt daran, dass im IKARUS-LP-Modell der entsprechende Wert der Enquete-Kommission temperaturbereinigt

betrachtet wurde. Der Vergleich der Ergebnisse der Szenarien in Tabelle 5.4-17 mit den Ergebnissen der entsprechenden IKARUS-Szenarien zeigt außerdem, dass der Verlauf des Stromverbrauchs in den hier entwickelten und den Szenarien von IKARUS ähnlich ist.

In absoluten Zahlen haben die in den Mit-Maßnahmen-Szenarien I und II formulierten Maßnahmen einen stärkeren Effekt als die entsprechenden Szenarien des IKARUS-LP-Modells. Im Jahr 2030 liegt der Stromverbrauch im Mit-Maßnahmen-Szenario I 10 % und im Mit-Maßnahmen-Szenario II 19 % unter dem des Referenzszenarios. Das Mit-Maßnahmen-Szenario I überschreitet also bereits die relative Minderung des IKARUS-Reduktionsszenarios II (9 % im Jahr 2030). Das Mit-Maßnahmen-Szenario II geht deutlich über die Ergebnisse des IKARUS-Modells hinaus.

Abbildung 5.4-4 zeigt die jährlichen Stromeinsparungen, die in den beiden Mit-Maßnahmen-Szenarien im Vergleich zum Referenzszenario erreicht werden. Im Jahr 2030 ist die jährliche Stromersparnis im Mit-Maßnahmen-Szenario II fast doppelt so groß wie beim Mit-Maßnahmen-Szenario I.

Abbildung 5.4-4 Jährliche Stromeinsparung in den Mit-Maßnahmen-Szenarien I und II im Vergleich zum Referenzszenario (2000 – 2030)

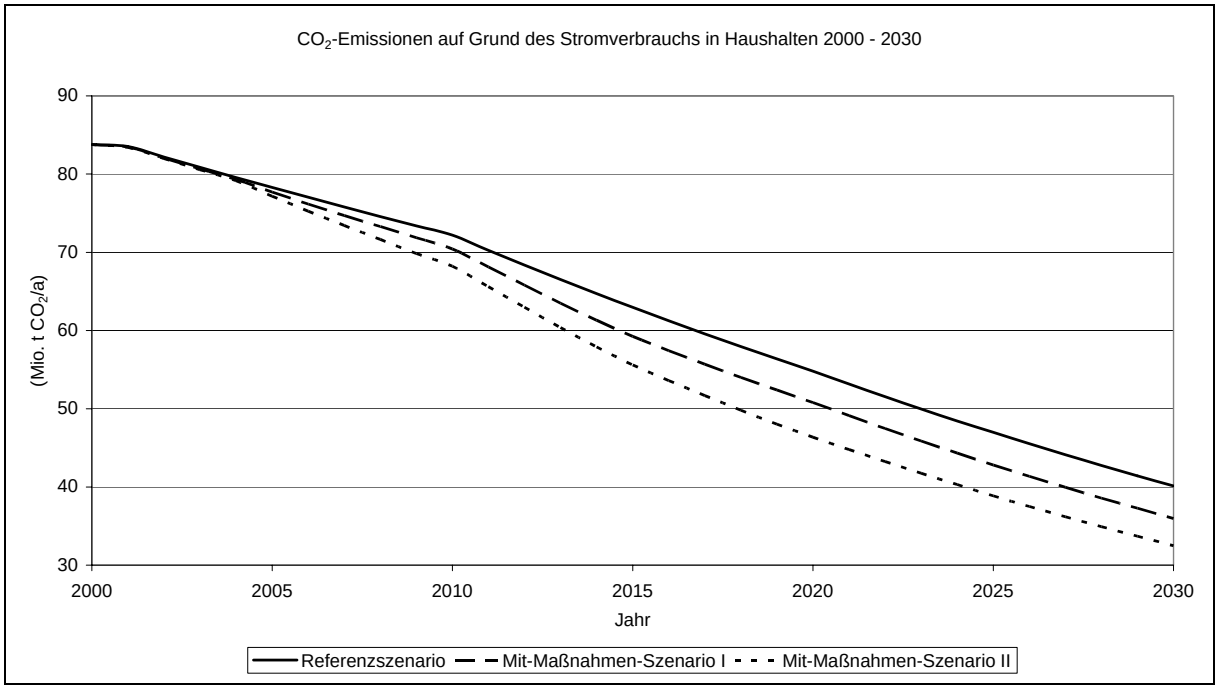


Quelle: Berechnungen Öko-Institut

- *CO_2-Emissionen*

Für die Berechnung der CO_2-Emissionen wird ein Emissionsfaktor von 650 g CO_2/kWh für das Jahr 2000 gesetzt. Es wird angenommen, dass die CO_2-Intensität der Stromerzeugung jährlich um 2 % abnimmt. Abbildung 5.4-5 zeigt den Verlauf der CO_2-Emissionen durch den Stromverbrauch in Haushalten bis 2030.

Abbildung 5.4-5 CO_2-Emissionen durch den Stromverbrauch der Haushalte (2000 – 2030)

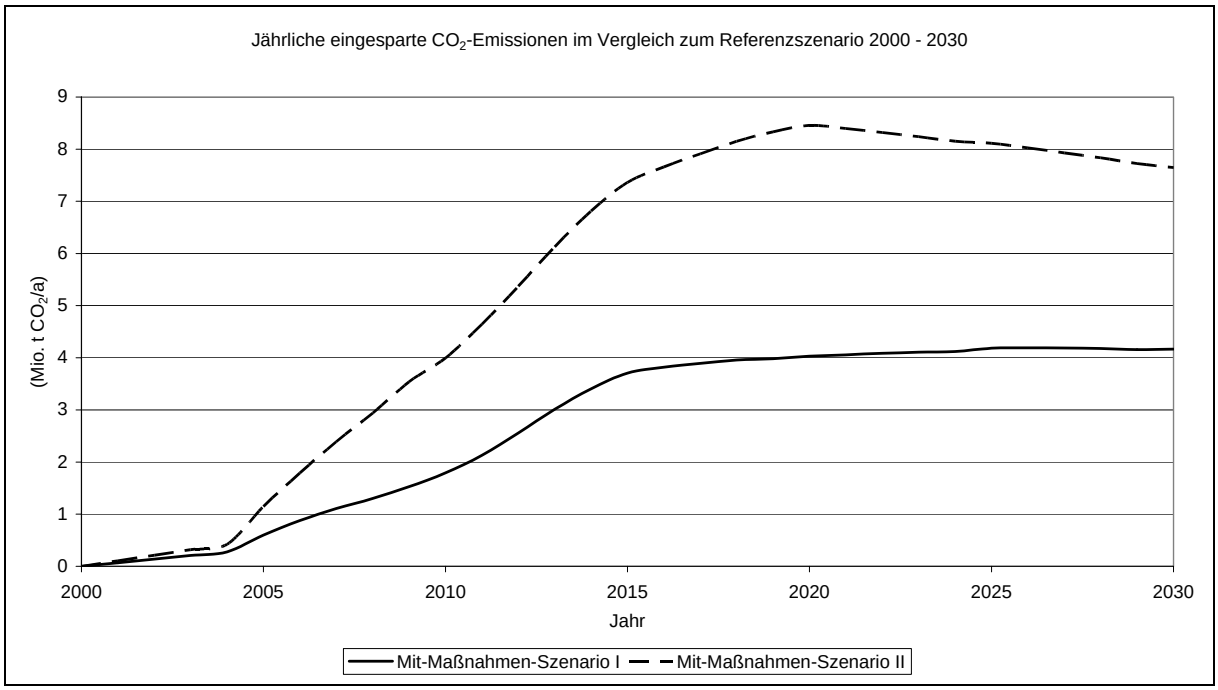


Quelle: Berechnungen Öko-Institut

Demnach sind die Emissionen im Jahr 2030 bereits im Referenzszenario um mehr als die Hälfte geringer als im Jahr 2000. Dies ist vor allem auf den insgesamt sinkenden Stromverbrauch in Haushalten und die oben erwähnte Verringerung der CO_2-Intensität der Stromerzeugung zurückzuführen. Die zusätzliche Ersparnis in den beiden Mit-Maßnahmen-Szenarien I und II nimmt sich in diesem Zusammenhang verhältnismäßig gering aus. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, die zusätzliche CO_2-Ersparnis zu betrachten, die auf Grund der Stromeinsparung in den Mit-Maßnahmen-Szenarien I und II im Vergleich zum Referenzszenario realisiert werden können. Die jährliche Ersparnis der CO_2-Emissionen der Mit-Maßnahmen-Szenarien I und II im Vergleich zum Referenzszenario (Abbildung 5.4-6) hat einen ähnlichen Verlauf wie die jährliche Ersparnis des Stromverbrauchs im Szenarienvergleich (Abbildung 5.4-4). Die CO_2-Ersparnis fällt in den frühen Jahren der Szenarien, relativ gesehen, stärker aus als die

Stromersparnis. Gegen Ende des Szenarios flacht sie ab, weil aufgrund der abnehmenden CO_2-Intensität der Stromerzeugung eine Stromersparnis in späteren Jahren der Szenarien nicht so CO_2-wirksam ist wie in früheren Jahren.

Abbildung 5.4-6 Jährliche CO_2-Ersparnis der Mit-Maßnahmen-Szenarien I und II im Vergleich zum Referenzszenario (2000 – 2030)



Quelle: Berechnungen Öko-Institut

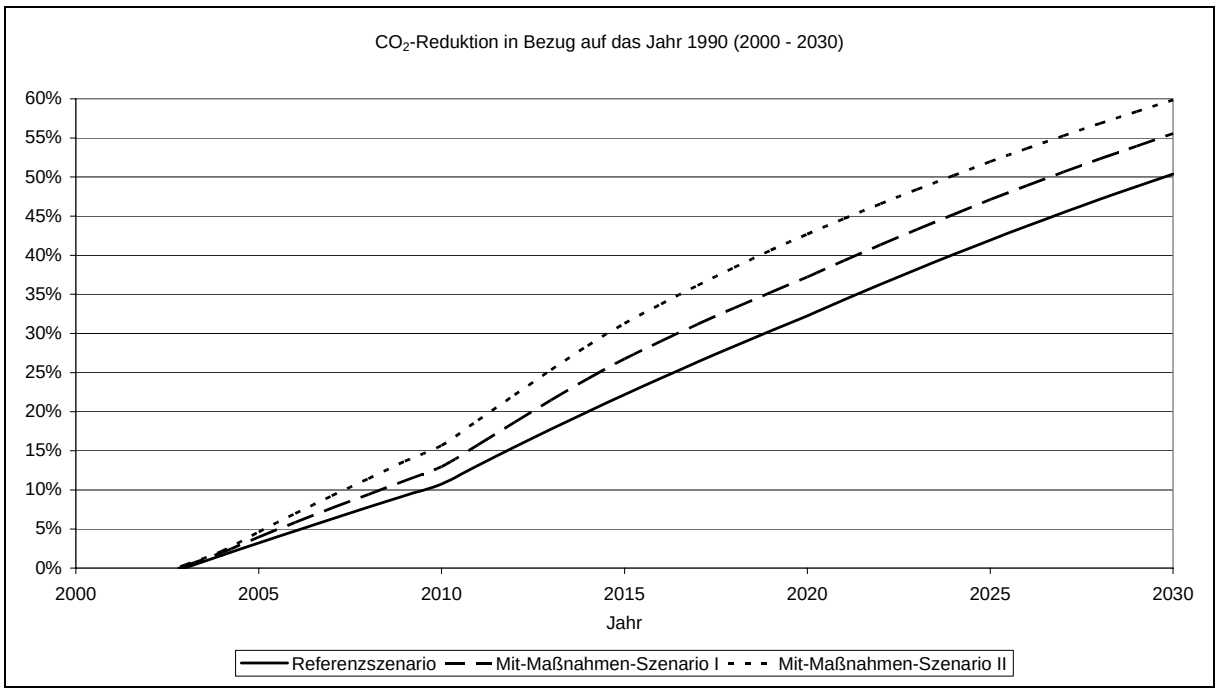
Abbildung 5.4-7 zeigt, dass – gemessen am nationalen Klimaschutzziel der Bundesregierung einer Reduktion der CO_2-Emissionen um 25 % bis 2005 gegenüber 1990 – das Referenzszenario dieses Ziel erst 2017 erreicht; beim Mit-Maßnahmen-Szenario I ist dies 2015 und beim Mit-Maßnahmen-Szenario II im Jahr 2013 der Fall.

5.4.2.3 Fazit

Aufgrund der spezifischen Hemmnisstrukturen im Bereich der elektrischen Haushaltsgeräte erscheint die zusätzliche Erschließung von Effizienzpotentialen durch Regelungen beziehungsweise Vereinbarungen zu Höchstverbrauchsstandards für Neugeräte für die größten Stromverbraucher im Haushalt als ein effizientes politisches Instrumentarium. Obwohl bei den Haushaltgeräten ein erhebliches Maß an autonomer Effizienzverbesserung zu erwarten ist, könnten mit einer solchen Regelung weitere Stromeinsparungen erreicht werden. Darüber

hinaus können durch Informationskampagnen und Anreizprogramme weitere Potenziale erschlossen werden.

Abbildung 5.4-7 Relative Minderung der CO_2-Emissionen gegenüber 1990 (2000 – 2030)



Quelle: Berechnungen Öko-Institut

Der Stromverbrauch der privaten Haushalte könnte durch die Einführung einer Verordnung, die den durchschnittlichen spezifischen Stromverbrauch von Neugeräten verbindlich festlegt, oder durch eine gleichwertige Verpflichtungserklärung der Industrie, sowie durch Informationskampagnen und Anreizprogramme für Heizungsumwälzpumpen, im Jahr 2030 um rund 12 TWh im Mit-Maßnahmen-Szenario I und rund 21 TWh im Mit-Maßnahmen-Szenario II im Vergleich zum Referenzszenario gesenkt werden, was einer Reduktion um 10 % beziehungsweise 19 % entspräche. Die vom IKARUS-LP-Modell berechneten Einsparungen können mit den präsentierten Maßnahmen erreicht (Mit-Maßnahmen-Szenario I) beziehungsweise übertroffen (Mit-Maßnahmen-Szenario II) werden.

Die jährlichen CO_2-Emissionen im Jahr 2030 wären um 4,2 Mio. t (Mit-Maßnahmen-Szenario I) beziehungsweise 7,6 Mio. t (Mit-Maßnahmen-Szenario II) geringer als im Referenzszenario. Vor dem Hintergrund des nationalen CO_2-Reduktionszieles der Bundesregierung ist zu sagen, dass die Mit-Maßnahmen-Szenarien I und II den Zeitraum bis zur Erreichung dieses Ziels um zwei beziehungsweise vier Jahre im Vergleich zum Referenzszenario verringern. Sie

sollten aber dennoch von anderen Maßnahmen flankiert werden. Hier sind insbesondere Maßnahmen zur Senkung der Leerlaufverluste, zur Förderung effizienter Haustechnik und zur Verbrauchsreduktion im Bereich der wachsenden Gruppe der Kommunikations- und Unterhaltungselektronik zu nennen.

Literatur zu Kapitel 5.4.2

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 2002: Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990 bis 2001. Berechnungen auf Basis des Wirkungsgradansatzes. http://www.ag-energiebilanzen.de

BINE 2001: Stromsparende Pumpen für Heizungen und Solaranlagen. Projektinfo 13/01. BINE Informationsdienst. http://www.bine.info

CEPE, ISI 2003: Der Einfluss moderner Gerätegenerationen der Informations- und Kommunikationstechnik auf den Energieverbrauch in Deutschland bis zum Jahr 2010-Möglichkeiten zur Erhöhung der Energieeffizienz und zur Energieeinsparung in diesen Bereichen, Projektnummer 28/01, Abschlussbericht and das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Karlsruhe, Zürich

DEnA, BMU, Deutsche Bahn 2003: Aktion Klimaschutz. http://www.aktion-klimaschutz.de

DIW, FZJ-STE, FZJ-TFF, FhG-ISI, Öko-Institut 1999: Politikszenarien für den Klimaschutz – II Szenarien und Maßnahmen zur Minderung von CO_2-Emissionen in Deutschland bis 2020. Abschlussbericht. Berlin, Jülich, Karlsruhe

Enquete-Kommission 2002: Endbericht der Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“, Bundes-Drucksache 14/9400, Berlin

GfK, ZVEI (Hausgeräte-Fachverbände im Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.) 2002: Zahlenspiegel des deutschen Elektro-Hausgerätemarktes 2002. Der Inlandsmarkt der Elektro-Hausgeräte-Industrie, Verkäufe von Elektro-Großgeräten an den Endverbraucher, Verkäufe von Elektro-Kleingeräten an den Endverbraucher, Marktsättigung. Nürnberg, Frankfurt. http://www.zvei.org

GOLEM 2003: 4,9 Millionen PCs in deutschen Haushalten. Bei PCs steigen die Qualitätsansprüche. In: IT-News für Profis, http://www.golem.de/0105/14005.html

HMULF (Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten), IWU (Institut Wohnen Umwelt): Energiesparen bei Heizung und Strom. Wissenswertes für Mieterinnen und Mieter. Energiesparinformationen 5, http://www.mulf.hessen.de

Impulsprogramm 2003: Das Fachwissen der vernünftigen Energieverwendung im Wohnungsbau, http://www.impulsprogramm.de

Impulsprogramm a: Stromverbrauch der Heizungsumwälzpumpe für ein Einfamilienhaus. Impulsprogramm Hessen. http://www.impulsprogramm.de

Impulsprogramm b: Umwälzpumpen. Riesige Sparpotentiale. Impulsprogramm Hessen. http://www.impulsprogramm.de

Impulsprogramm c: Stromsparende Umwälzpumpe mit 15 Watt elektrischer Leistung. Impulsprogramm Hessen. http://www.impulsprogramm.de

ISI, GfK 2001: Evaluierung zur Umsetzung der Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung (EnVKV), Projektnummer 28/00, Abschlussbericht an das Ministerium für Wirtschaft und Technologie, Karlsruhe (ISI), Nürnberg (GfK)

Prognos 1995: Die Energiemärkte Deutschlands im zusammenwachsenden Europa - Perspektiven bis zum Jahr 2020. Bericht im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft, Basel

Prognos 2000: Energiereport III. Die längerfristige Entwicklung der Energiemärkte im Zeichen von Wettbewerb und Umwelt. Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart.

Spargeräte 2003: Strom und Wasser sparen lohnt sich. Besonders sparsame Haushaltsgeräte. http://www.spargeraete.de

UBA 1999 a: UBA-Texte 05/1999, Klimaschutz durch Minderung von Leerlaufverlusten bei Elektrogeräten -Instrumente-, Berlin

UBA 1999 b: Neues zum Thema Leerlaufverluste (6). Umweltbundesamt, Berlin

VDEW, VRE, VKU, DEnA, DBU, BMWA 2003: Initiative Energieeffizienz. Wir machen Sie zum Effizienzexperten. http://www.initiative-energieeffizienz.de

5.5 **Verkehr** (DIW Berlin)

5.5.1 Die Ergebnisse der Modellrechnungen

Nach den Ergebnissen der Modellrechnungen (vgl. Kapitel 4) wird sich der Energieverbrauch im Sektor Verkehr im Modell-Basis-Szenario wie im Referenz-Szenario gegenüber 2000 bis zum Jahr 2010 noch deutlich erhöhen, bis 2020 zunächst leicht, dann aber bis 2030 kräftig sinken. Im Modell-Basis-Szenario wird im Jahr 2030 wieder das Ausgangsniveau im Jahr 2000 erreicht; im Referenz-Szenario wird es etwas unterschritten (Tabelle 5.5-1).

Es ist bereits darauf hingewiesen worden, dass wegen der spezifischen Modellcharakteristik (das Modell rechnet mit Kosten, aber nicht mit Preisen; keine Berücksichtigung von Verhaltensänderungen u.Ä.) die Reagibilität des Verkehrssektors in den Reduktionsszenarien vergleichsweise gering ist, so dass die Anpassungslasten bei sehr starken Emissionsrestriktionen in vermutlich zu hohem Umfang auf die anderen Sektoren verlagert werden. Deutlich wird dies schon daran, dass das Reduktions-Szenario I nach den Ergebnissen der Modellrechnungen praktisch identisch ist mit dem Modell-Basis-Szenario; selbst im Reduktions-Szenario II fällt der Energieverbrauch im Verkehr im Jahre 2030 lediglich um rund 3 % niedriger aus als im Jahr 2000.

Tabelle 5.5-1 Endenergieverbrauch nach Energieträgern im Sektor Verkehr im Modell-Basis-Szenario und im Referenz-Szenario sowie in den Reduktions-Szenarien I und II

Angaben in PJ	2000	Modell-Basis-Szenario			Reduktions-Szenario I			Reduktions-Szenario II		
		2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030
Benzin	1238	1617	1592	1451	1617	1592	1451	1606	1575	1423
Diesel	1145	1071	1006	945	1071	1006	945	1071	939	872
Kerosin u.a.	59	47	46	47	47	46	47	47	46	47
Strom	58	64	66	64	64	66	64	65	66	64
Sonstiges	6	0	0	0	0	0	0	0	28	19
Summe	2506	2799	2710	2507	2799	2710	2507	2790	2654	2426
Summe Referenz-Szenario	2745	2838	2757	2639	**Anmerkung:** Anders als bei den übrigen Szenarien ist der Auslandsflugverkehr in den Angaben zum Referenz-Szenario enthalten.					

Analog zu den Veränderungen des Energieverbrauchs weichen auch die CO_2-Emissionen in den beiden Reduktionsszenarien nicht wesentlich vom Modell-Basis-Szenario oder vom Referenz-Szenario ab: In der Gliederung gemäß der Systematik der deutschen Energiebilanzen

sind die verkehrsbedingten CO_2-Emissionen bis zum Jahr 2030 im Modell-Basis-Szenario und im Reduktions-Szenario I identisch; sie sind zuletzt noch um knapp 11 % höher als 1990. Im Reduktions-Szenario II sind die Emissionen im Jahr 2030 zwar etwas (um 6 bis 7 Mio. t) niedriger als in den vorgenannten beiden Szenarien, doch bedeutet dies noch immer eine Steigerung im Vergleich zu 1990 um 7 %. Immerhin wird für alle Szenarien noch 2010 mit einer mehr oder weniger deutlichen Reduktion der CO_2-Emissionen gerechnet (Tabelle 5.5-2).

Tabelle 5.5-2 Entwicklung der CO_2-Emissionen im Sektor Verkehr in den Szenarien

	1990	2000	2010	2020	2030	2000	2010	2020	2030
	CO_2-Emissionen in Mio. t					Veränderungen gegenüber 1990 in %			
	Gliederung gemäß UBA-Bilanzierung								
Modell-Basis-Szenario			202	196	181	9,3	17,4	14,0	5,2
Reduktions-Szenario I	172	188	202	196	181	9,3	17,4	14,0	5,2
Reduktions-Szenario II			201	189	167	9,3	16,9	9,9	-2,9
	Gliederung gemäß Systematik der AG Energiebilanzen								
Modell-Basis-Szenario			196	190	175	12,7	24,1	20,3	10,8
Referenz-Szenario	158	178	188	181	170	12,7	19,0	14,6	7,6
Reduktions-Szenario I			196	190	175	12,7	24,1	20,3	10,8
Reduktions-Szenario II			196	184	169	12,7	24,1	16,5	7,0

Insgesamt leistet der Verkehr nach den Ergebnissen der Modellrechnungen praktisch keine signifikanten Beiträge zu der vorgegebenen Reduktion der CO_2-Emissionen. Für das Reduktions-Szenario I wären danach auch keinerlei energie-, umwelt- und verkehrspolitische Maßnahmen notwendig, und im Reduktions-Szenario II könnten sie sich im wesentlichen auf eine allenfalls etwas intensivere Fortführung der gegenwärtig schon verfolgten Politik beschränken.

Da dieses Resultat aber im wesentlichen eine Folge der schon mehrfach skizzierten Modelleigenschaft ist, nicht aber die tatsächlich im Verkehrssektor existierenden Reduktionspotenziale reflektiert, soll im Folgenden zunächst ein Blick auf die verkehrsbezogenen Ergebnisse der Szenarien der Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung ...“ geworfen werden. Daran schließen sich Überlegungen für ein an Nachhaltigkeitskriterien orientiertes Verkehrsszenario an.

5.5.2 Die verkehrsbezogenen Ergebnisse der Szenarien der Enquete-Kommission

Im Auftrag der Enquete-Kommission sind von drei Instituten Szenarien erarbeitet worden, für die seitens der Kommission entsprechend der jeweils verfolgten Philosophie bestimmte Grundannahmen vorgegeben wurden: Dabei stehen neben dem bereits weiter oben zitierten Referenzszenario drei Hauptszenarien (es wurden insgesamt 14 Szenarien und Varianten gerechnet), die als repräsentativ für die grundsätzlichen Entwicklungslinien einer künftigen Energieversorgung gewertet werden mögen. Gemeinsam ist diesen Szenarien, neben einem identischen Satz exogen gesetzter energiebedarfsbestimmender Faktoren (wie gesamtwirtschaftliches und sektorales Produktionswachstum, demographische Veränderungen, Energiepreise, Zinssatz u.Ä.) die – schon im Einsetzungsbeschluss der Kommission enthaltene - Vorgabe einer Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2050 um 80 % gegenüber 1990.

Die drei Hauptszenarien und deren zentralen Voraussetzungen lassen sich wie folgt charakterisieren:

- Im Szenario „Umwandlungseffizienz“ (UWE) steht die forcierte Steigerung der Effizienz in der Energieanwendung und –bereitstellung im Vordergrund, und es bleibt beim Auslaufen der Kernenergienutzung.

- Im Szenario „REG/REN-Offensive“ (RRO) sollen die erneuerbaren Energiequellen (REG) bis zur Mitte des Jahrhunderts mindestens die Hälfte des Primärenergiebedarfs decken; gleichzeitig soll die rationelle Energienutzung (REN) massiv forciert werden.

- Im Unterschied zu den beiden anderen Szenarien wird im Szenario „Fossil-nuklearer Energiemix“ (FNE) die Nutzung der Kernenergie fortgesetzt und ein Ausbau ermöglicht. Hier fallen die Anstrengungen zur Steigerung einer höheren Energieeffizienz schwächer aus als in den beiden anderen Szenarien.

Nach diesen Szenarien würde der gesamte verkehrsbedingte Energieverbrauch im Jahr 2030 gegenüber 1990 im Referenz-Szenario um rund 11 %, im FNE-Szenario um gut 9 % und im UWE-Szenario um knapp 4 % höher ausfallen. Lediglich unter den Voraussetzungen des RRO-Szenarios käme es zu einer leichten Verbrauchsminderung; verglichen mit den Ergebnissen für das Referenz-Szenario im Jahr 2030 wären es aber immerhin 11 % weniger. Folgt man den Enquete-Szenarien, so setzt zwar auch hier die Verbrauchsreduktion nach 2010 ein,

deutlich ins Gewicht fällt sie aber (auch wegen des dann angenommenen starken Bevölkerungsrückgangs) vor allem in den Jahren nach 2030. Danach könnte der Energieverbrauch im Verkehr im Jahr 2050 um bis zu 30 % (RRO-Szenario) niedriger sein als 1990 (Tabelle 5.3-3).

Tabelle 5.5-3 Die Veränderungen des verkehrsbezogenen Energieverbrauchs in den Szenarien der Enquete-Kommission

Szenarien	1990	1995	1998	2000	2010	2020	2030	2040	2050
	Endenergieverbrauch in PJ								
Referenz	2379	2614	2692	2745	2838	2757	2639	2485	2299
Umwandlungseffizienz					2772	2640	2471	2251	1975
REG/REN-Offensive					2738	2566	2351	2085	1669
Fossil-Nuklearer Energiemix					2825	2726	2598	2356	2115
	Veränderungen gegenüber 1990								
Referenz		9,9	13,2	15,4	19,3	15,9	10,9	4,5	-3,4
Umwandlungseffizienz					16,5	11,0	3,9	-5,4	-17,0
REG/REN-Offensive					15,1	7,9	-1,2	-12,4	-29,8
Fossil-Nuklearer Energiemix					18,8	14,6	9,2	-1,0	-11,1
	1991	1995	1998	1999	2010	2020	2030	2040	2050
	Endenergieverbrauch in PJ								
Referenz	2428	2614	2692	2779	2838	2757	2639	2485	2299
Personenverkehr	1812	1874	1897	1918	1889	1729	1565	1405	1257
Güterverkehr	616	740	795	861	949	1028	1074	1080	1041
Umwandlungseffizienz	2428	2614	2692	2779	2772	2640	2471	2251	1975
Personenverkehr	1812	1874	1897	1918	1852	1663	1461	1257	1041
Güterverkehr	616	740	795	861	920	978	1010	994	934
REG/REN-Offensive	2428	2614	2692	2779	2738	2566	2351	2085	1669
Personenverkehr	1812	1874	1897	1918	1825	1607	1378	1138	882
Güterverkehr	616	740	795	861	913	960	973	946	787
Fossil-Nuklearer Energiemix	2428	2614	2692	2779	2825	2726	2598	2356	2115
Personenverkehr	1812	1874	1897	1918	1876	1699	1523	1314	1104
Güterverkehr	616	740	795	861	949	1028	1074	1043	1011
	Veränderungen gegenüber 1991								
Referenz		7,7	10,9	14,5	16,9	13,5	8,7	2,3	-5,3
Personenverkehr		3,4	4,7	5,9	4,3	-4,6	-13,6	-22,5	-30,6
Güterverkehr		20,1	28,9	39,7	54,0	66,7	74,3	75,3	69,0
Umwandlungseffizienz		7,7	10,9	14,5	14,2	8,7	1,8	-7,3	-18,6
Personenverkehr		3,4	4,7	5,9	2,2	-8,2	-19,4	-30,6	-42,6
Güterverkehr		20,1	28,9	39,7	49,4	58,6	63,9	61,2	51,6
REG/REN-Offensive		7,7	10,9	14,5	12,8	5,7	-3,2	-14,1	-31,3
Personenverkehr		3,4	4,7	5,9	0,7	-11,3	-24,0	-37,2	-51,3
Güterverkehr		20,1	28,9	39,7	48,2	55,7	57,9	53,5	27,8
Fossil-Nuklearer Energiemix		7,7	10,9	14,5	16,4	12,3	7,0	-3,0	-12,9
Personenverkehr		3,4	4,7	5,9	3,5	-6,2	-15,9	-27,5	-39,1
Güterverkehr		20,1	28,9	39,7	54,1	66,7	74,3	69,2	64,1

Quelle: IER, Enquete-Kommission.

Dabei zeigen sich in allen Szenarien deutliche Unterschiede in den Entwicklungen des Energieverbrauchs im Personenverkehr einerseits und im Güterverkehr andererseits. Schon im Referenz-Szenario kommt es bald zu einer spürbaren Verbrauchsminderung im Personenverkehr, während der Güterverkehr in allen Szenarien zumindest noch bis 2030 beträchtliche Steigerungsraten aufweist. Mitte des Jahrhunderts wäre der Energieverbrauch in diesem Segment selbst im RRO-Szenario noch um rund 28 % höher als Anfang der neunziger Jahre.

Die verkehrsbedingten CO_2-Emissionen der Enquete-Kommission weisen einen deutlich vom entsprechenden Energieverbrauch abweichenden Verlauf aus. Im Referenz-Szenario wie im Szenario „Fossil-nuklearer Energiemix“ sind sie im Jahr 2030 zwar noch um knapp 8 % bzw. um fast 7 % höher als 1990, doch schon im Szenario „Umwandlungseffizienz“ sind sie dann um nahezu 17 % und im Szenario „REG/REN-Offensive“ sogar um rund ein Viertel niedriger. Vom Jahr 2040 wird das 1990er-Emissionsniveau in allen Szenarien unterschritten (Tabelle 5.5-4).

Tabelle 5.5-4 Treibhausgasemissionen insgesamt sowie CO_2-Emissionen im Sektor Verkehr in den Szenarien der Enquete-Kommission

Szenarien	1990	1995	1998	2010	2020	2030	2040	2050
	Treibhausgasemissionen in Mio. t CO_2-Äquivalent							
Referenz	162,5	178,8	182,8	192,6	184,9	173,9	157,7	136,2
Umwandlungseffizienz				177,1	155,4	134,7	115,1	102,6
REG/REN-Offensive				174,3	149,6	123,2	98,1	77,5
Fossil-Nuklearer Energiemix				192,0	183,4	172,4	143,2	114,0
	Veränderungen gegenüber 1990 in %							
Referenz		10,0	12,5	18,5	13,8	7,0	-3,0	-16,2
Umwandlungseffizienz				9,0	-4,4	-17,1	-29,2	-36,9
REG/REN-Offensive				7,3	-8,0	-24,2	-39,6	-52,3
Fossil-Nuklearer Energiemix				18,2	12,9	6,1	-11,9	-29,8
	CO_2-Emissionen in Mio. t							
Referenz	158,0	172,6	176,7	188,3	181,0	170,3	154,4	133,4
Umwandlungseffizienz				173,0	151,8	131,4	112,3	100,4
REG/REN-Offensive				170,3	146,1	120,2	95,7	75,8
Fossil-Nuklearer Energiemix				187,8	179,7	168,9	140,2	111,5
	Veränderungen gegenüber 1990 in %							
Referenz		9,3	11,8	19,2	14,6	7,8	-2,3	-15,6
Umwandlungseffizienz				9,5	-3,9	-16,8	-28,9	-36,4
REG/REN-Offensive				7,8	-7,5	-23,9	-39,4	-52,0
Fossil-Nuklearer Energiemix				18,9	13,7	6,9	-11,3	-29,4

Quelle: IER, Enquete-Kommission.

Die Divergenzen zwischen der Entwicklung von Energieverbrauch und CO_2-Emissionen sind zurückzuführen auf die teilweise starken Veränderungen in der Struktur der eingesetzten Kraftstoffe. Während die Anteile emissionsfreier Energieträger am verkehrsbedingten Energieverbrauch unter Referenzbedingungen von heute kaum mehr 2,3 % auf fast 5 % im Jahr 2030 und auf beinahe 14 % im Jahr 2050 steigen, nehmen sie bis 2030 im Szenario UWE auf rund 20 % und im Szenario RRO auf reichlich 22 % zu; 2050 könnten es in diesen beiden Szenarien rund ein Drittel bzw. gut zwei Fünftel sein. Im FNE-Szenario erhalten emissionsfreie Energieträger erst von 2040 an dann schnell zunehmendes Gewicht.

Interessant ist die Struktur der emissionsfreien Energieträger: Bis 2030 handelt es sich im Referenz-Szenario wie im FNE-Szenario überwiegend um elektrische Energie (deren Emissionen im Umwandlungssektor anfallen und dort verbucht werden), während es in den beiden anderen Szenarien UWE und RRO vor allem Biokraftstoffe sind (Tabelle 5.5-5).

Tabelle 5.5-5 Anteile emissionsfreier Energieträger und vom Biokraftstoffen am verkehrsbedingten Energieverbrauch in den Szenarien der Enquete-Kommission

Szenarien	1991	2000	2010	2020	2030	2040	2050
	Anteil emissionsfreier Energieträger[1)] in %						
Referenz	2,3	2,3	2,7	3,4	4,8	7,8	13,6
Umwandlungseffizienz			7,9	14,4	20,0	23,8	33,7
REG/REN-Offensive			8,1	15,0	22,4	28,6	41,8
Fossil-Nuklearer Energiemix			2,6	3,2	4,4	15,9	30,0
	Anteil von Biokraftstoffen in %						
Referenz	0,0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1,0
Umwandlungseffizienz			5,3	11,0	15,3	17,1	19,6
REG/REN-Offensive			5,3	11,0	16,3	18,0	23,5
Fossil-Nuklearer Energiemix			0,3	0,4	0,5	8,8	18,9

[1)] Strom, Wasserstoff, Biokraftstoffe.
Quelle: IER, Enquete-Kommission.

Ohne in eine detailliertere Diskussion der Szenarien der Enquete-Kommission eintreten zu wollen, lässt sich als Fazit daraus doch konstatieren, dass es auch im Sektor Verkehr noch erhebliche nutzbare Potenziale zur Reduktion der CO_2-Emissionen gibt, die durch entsprechende politische Maßnahmen ausgeschöpft werden sollten. Dadurch ließen sich auch die Anpassungslasten für die übrigen Sektoren, die diese unter den gewählten Emissionsvorgaben ansonsten praktisch alleine tragen müssten, spürbar mindern.

5.5.3 Ein Nachhaltigkeitsszenario für den Verkehrssektor

5.5.3.1 Vorbemerkungen

Mit den seit 1998 in Deutschland von der Bundesregierung umgesetzten klimaschutzpolitischen Maßnahmen dürften die verkehrsbezogenen direkten CO_2-Emissionen insgesamt um rund 14,0 Mio. t reduziert worden sein (vgl. Kapitel 3.5). Neben diesen Maßnahmen ist noch eine Reihe weiterer Maßnahmen geplant, bei denen die im Folgenden kurz skizzierten und weiter oben schon zitierten Wirkungen erwartet werden können (Wirkungen in Mio. t CO_2; in Klammern: gewichtete Wirkung):

Förderung Contracting	keine Aussage möglich	
Autobahnbenutzungsgebühr für Lkw	1	(0,9)
Verbesserte Kooperation und Verknüpfung der Verkehrsträger	2	(1,9)
Kampagne Klimaschutz im Verkehrsbereich	2	(1,8)
Emissionsabhängige Landegebühren (Bestandteil des Nachhaltigkeitsszenarios für den Verkehrssektor)	noch nicht präzisiert	
Verwendung von Leichtlaufölen und Leichtlaufreifen	keine Angaben möglich	
Verkehrswirtschaftliche Energiestrategie	keine Angaben möglich	
Integrierte Verkehrsplanung	keine Angaben möglich	
Anti-Stau-Programm	keine	
Förderung des Fahrradverkehrs	1	(0, 8)

Die geplanten weiteren Maßnahmen würden danach, soweit sie heute quantifizierbar sind, ein zusätzliches Potenzial von etwa 5,4 Mio. t CO_2 beinhalten. Zusammen mit den Minderungen aus den bereits ergriffenen Maßnahmen würden demnach etwa 19,5 Mio. t CO_2 reduziert.

Vom Ergebnis her ist festzustellen, dass alle skizzierten Maßnahmen bei weitem nicht ausreichen, um im Betrachtungszeitraum auch im Verkehrsbereich eine Entwicklung zu realisieren, die mit dem globalen Nachhaltigkeitsziel kompatibel ist. Bei einigen Maßnahmen steht zudem zu befürchten, dass kontraproduktive Effekte ausgelöst werden. Das gilt insbesondere für die Maßnahmen, die im unmittelbaren oder mittelbaren Zusammenhang mit der Bundesverkehrswegeplanung (integrierte Verkehrsplanung, Anti-Stauprogramm) stehen.

Im nationalen Bereich sind durchaus Spielräume für mehr verkehrliche Energie- und Umwelteffizienz vorhanden. Der Sachstandsbericht des Umweltbundesamtes zu den CO_2-Minderungspotenzialen im Verkehr zeigt, dass es vielfach nur an dem politischen Willen

fehlt, diese mehr als bisher zu erreichen.[143]Viele Einzelmaßnahmen erfordern in der Regel eine Vielzahl von flankierenden Maßnahmen, um wirksam zu sein.. Erforderlich ist eine konsistente, in wichtigen Grundsätzen in sich abgestimmte Verkehrspolitik, die Minderungserfolge einzelner Maßnahmen durch andere nicht wieder in Frage stellt.

5.5.3.2 Maßnahmen für ein verkehrsbezogenes Nachhaltigkeitsszenario

Eine integrierte Verkehrs- und Umweltpolitik lässt sich am ehesten durch eine ausgewogene Mischung vielfältiger Einzelmaßnahmen umsetzen. Wichtig ist ein verkehrs- und umweltpolitisches Gesamtkonzept, in dem sich einzelne Maßnahmen nicht kontraproduktiv zueinander auswirken. Ein abgestimmtes Bündel von Maßnahmen aus allen verkehrspolitischen Bereichen (Investitionspolitik, Preispolitik, Ordnungspolitik, organisatorische Maßnahmen, Öffentlichkeitsarbeit) gewährleistet am ehesten die Erreichung der angestrebten Ziele. Die Wirkungen einzelner Maßnahmen müssen sich ergänzen und gegenseitig verstärken. Solche Synergieeffekte wiederum gestatten es, die Intensität von einzelnen Maßnahmen, z.B. der Preispolitik, vergleichsweise gering zu halten und damit Anpassungsschocks zu begrenzen.

Das DIW Berlin hat im Jahr 2001 im Rahmen einer Studie zur nachhaltigen Energieversorgung im Bereich Mobilität verschiedene Instrumente und Maßnahmen zur deutlichen Reduktion verkehrsbedingter CO_2-Emissionen bewertet.[144] Die hier untersuchten Maßnahmen setzen auf vier Ebenen an:

- Verbesserung der Effizienz,
- Verlagerung auf weniger umweltbelastende Verkehrsarten,
- Verkehrsvermeidung,
- Antriebs- und Treibstoffsubstitution

Allerdings lassen sich die meisten Maßnahmen nicht isoliert einer dieser Strategien zuordnen. In der Regel kommt es zu Überschneidungen oder Mehrfachwirkungen. So geht beispielsweise von einer Erhöhung der Mineralölsteuer und damit des Kraftstoffpreises ein Impuls zum Erwerb kraftstoffsparender Fahrzeuge und dadurch auch zur Entwicklung entsprechender Antriebe aus. Daneben kann - soweit akzeptable Alternativen vorhanden sind - auch die Benut-

---

[143] Vgl. Umweltbundesamt (2003), a.a.O.

[144] Vgl. R. Hopf und U. Voigt: Instrumente und Maßnahmen zur Realisierung einer nachhaltigen Energieversorgung - Entwicklungspfade im Bereich Mobilität. Gutachten im Auftrag des Deutschen Bundestages, vorgelegt dem Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag. Berlin 2001.

zung öffentlicher Verkehrsmittel angeregt werden. Schließlich können bei einer Verteuerung von Verkehrsleistungen näher gelegene Fahrtziele relativ zu weiter entfernten an Bedeutung gewinnen, so dass sich auf diese Weise eine Verminderung der Verkehrsleistungen ergibt. Auch im Güterverkehr sind prinzipiell die drei genannten Ansatzebenen von Bedeutung.

Als wichtigste Instrumente im Rahmen des Gesamtkonzepts für mehr Nachhaltigkeit wurden untersucht:

- Reale Kraftstoffverteuerung um durchschnittlich 3 % p. a. durch Zunahme des Rohölpreises und Anhebung der Mineralölsteuer;
- Angleichung der Mineralölsteuer für DK an das Niveau von VK,
- Erhöhung der fahrleistungsabhängigen Lkw-Maut und Ausdehnung auf sämtliche Außerortsstraßen (in Anlehnung an das Schweizer System; die Gebühren liegen deutlich über den Sätzen, die im Jahre 2003 in Deutschland eingeführt werden sollen):

  - 3,5 bis unter 12 t: 20 Cent/km,
  - 12 bis unter 18 t: 30 Cent/km und
  - 18 bis 40 t: 50 Cent/km
- Einführung einer moderaten Kerosinsteuer in Kombination spürbaren Emissionsabgabe,
- Verminderung bzw. ersatzlose Streichung der Pendlerpauschale,
- Ausdehnung der Parkraumbewirtschaftung in Städten und Ballungsgebieten,
- Qualitativer und quantitativer Ausbau der Eisenbahninfrastruktur, eine verbesserte Gestaltung der Betriebsabläufe, die Entmischung von Personen- und Güterverkehr, die Intensivierung des Wettbewerbs auf dem Netz sowie
- Geschwindigkeitsbegrenzungen für Pkw auf Autobahnen (120 km/h)

Im Folgenden sind die Maßnahmen, die eine nachhaltige Verkehrsentwicklung gewährleisten würden, nach Politikbereichen zusammengestellt Angesichts des Umfangs des Kataloges können sie hier nicht einzelnen diskutiert und untersucht werden. Die Übersicht ist dem schon erwähnten TAB-Gutachten entnommen.[145] Sie macht deutlich, dass es zur Realisierung nachhaltiger Verkehrsabläufe eines umfangreichen Maßnahmenpaketes aus diversen Politikbereichen bedarf.

Übersicht 5.5-1 Maßnahmen für ein nachhaltiges Verkehrsszenario

Handlungs-/Maßnahmenbereich	Maßnahme
1. Infrastrukturpolitik	
1.1 Personen- und Güterverkehr übergreifende Maßnahmen	
Bahninfrastruktur	Deutlicher Ausbau der Bahninfrastruktur, v.a. für den internationalen Verkehr und den Güterverkehr
	Steigerung der Streckenleistungsfähigkeit (moderne Zugleitsysteme)
	Keine weitere Stillegung von Nebenstrecken
Bundesfernstraßennetz	Kein genereller Netzausbau, Beseitigung von Engpässen
1.2 Personenverkehr	
ÖPNV	Beschleunigung des kommunalen ÖPNV durch Ausbau systemeigener Trassen und eine bessere Angebotskoordination zwischen den verschiedenen Verkehrsträgern
Radwegenetz (in Ballungsräumen)	Aufbau geschlossener Radwegenetze mit einer zugunsten des Radverkehrs geänderten Aufteilung städtischer Verkehrsräume
Ruhender Verkehr	Reduktion unbewirtschafteter Stellplätze im Straßenraum; Parkhausbau v.a. an Verknüpfungspunkten (P+R), dagegen nur noch ausnahmsweise in innerstädtischen Lagen. In Städten wird verstärkt Anwohnerparkieren eingeführt; Quartiersgaragen.
1.3 Güterverkehr	
Güterverkehrszentren	Bau nach bundesweit vernetzten Planungen, Orientierung an Vor- und Nachläufen, gezielte Veränderung des Modal Split
KV-Terminals (Bahn)	Aufbau eines hochleistungsfähigen europäischen KV-Systems mit Direktzugverbindungen, leistungsfähigen und durchgehenden internationalen Bahnverbindungen
	nationaler Güterschnellverkehr mit Kleinbehältersystemen
Streckenkapazitäten Rangierbahnhöfe ortsfeste Anlagen (Bahn)	Erhöhung der Bahnhofskapazitäten, gezielte bauliche Maßnahmen zur Beschleunigung des Wagenladungsverkehrs, Automatisierung der Rangierabläufe, automatische Kupplung, Automatisierung der Zugbildung, international kompatible Zugsicherungs- und Betriebsleitsysteme
Automatisierte Umschlaganlagen (KV, Hafenumschlag) in der Binnenschifffahrt	Weiterentwicklung des kombinierten Verkehrs mit Binnenschiffen (u.a. Ausbau der Binnenhäfen zu trimodalen Umschlaganlagen, wie in Koblenz)
Binnenwasserstraßen	Gezielte Verbesserung bei vorhandenen Engpässen
2. Verkehrsangebotspolitik/Verkehrsnachfragemanagement	
2.1 Personen- und Güterverkehr übergreifende Maßnahmen	
Bahnbetrieb	Entmischung des Eisenbahnbetriebs von Personen- und Güterverkehr Effizientere Gestaltung des Verkehrsablaufs der Bahn

[145] Hopf, R. und Voigt, U., a.a.O.

Handlungs-/Maßnahmenbereich	Maßnahme
Handlungs-/Maßnahmenbereich	Maßnahme
2.2 Personenverkehr	
Mobilitätsmanagement	ÖPNV: Taktverdichtung, Netzerweiterung, flexible Bedienung, Sammeltaxen in dünnbesiedelten Räumen Busspuren, Vorrangschaltung für Busse und Trams; Übersichtliches Tarifsystem, Erleichterung des Fahrscheinerwerbs; Benutzerfreundliche Informationssysteme für Passagiere; Attraktive Gestaltung von Bushaltestellen und Bahnhöfen; Netz von Mobilitätszentralen Parkraumpolitik und –management: Parkleitsysteme, gezielte Parkraumbewirtschaftung, Überwachung, Bündelung und Bewirtschaftung von Parkplätzen, Freihalten von Flächen; Mobilitätsmanagement in Unternehmen und Behörden (Mitfahrvermittlung am Arbeitsplatz, Reduzierung der Dienstwagen, Dienstfahrräder, umweltfreundliche Organisation von Dienstreisen)
Organisation des Flugverkehrs	Freigabe von Flugrouten, Verringerung von horizontalen, vertikalen & longitudinalen Abständen, verbesserte Lande- und Startmuster, verbesserte Luftraumkontrolle
2.3. Güterverkehr	
Automatisierte Umschlaganlagen (KV, Hafenumschlag)	Technik und Anwendung der Telekommunikation, automatisierte Umschlagtechniken und neue Schiffstypen werden im Rahmen der Forschungs- und Innovationspolitik des Bundes und der Küstenländer zur Effizienzsteigerung der Seehäfen gefördert
Grenzüberschreitender Verkehr	Abbau sämtlicher Hemmnisse im internationalen Schienengüterverkehr Überwindung von Inkompatibilitäten innerhalb der EU
3. Ordnungspolitik	
3.1 Personen- und Güterverkehr übergreifende Maßnahmen	
Marktzugang	Intensivierung des Wettbewerbs auf der Schiene
Fahrerausbildung	Obligatorische Schulung in energiesparender, umweltschonender Fahrweise
3.2 Personenverkehr	
Geschwindigkeitsbegrenzung	Für Pkw: 120 km/h auf BAB und entsprechend ausgebauten Bundesstraßen, 80 km/h auf sonstigen Überlandstraßen; Für Omnibusse: Regelung wie bisher, jedoch stärkere Überwachung
Benutzervorteile	Bevorrechtigung für Fahrzeuge des öffentlichen Verkehrs (Busse, Bahnen) und Pkw mit mehreren Insassen oder Car-Sharing, lokale Verbote für motorisierte Fahrzeuge

Handlungs-/Maßnahmenbereich	Maßnahme
3.3 Güterverkehr	
Marktzugang	Verschärfung der Marktzugangsregelungen im Straßengüterverkehr im Hinblick auf Zuverlässigkeit, finanzielle Leistungsfähigkeit und fachliche Kompetenz
	Volle Bahnkabotage innerhalb der EU
Tempolimit und Überholverbote	Regelung wie bisher, jedoch stärkere Überwachung
	Überholverbot für LKW auf Bundesfernstraßen
Fahrverbote	Ausdehnung räumlicher und zeitlicher Fahrverbote, v.a. nachts
Sozialvorschriften	verschärfte Überwachung der Vorschriften zu Lenk- und Ruhezeiten
4. Fiskal- und Preispolitik	
4.1 Personen- und Güterverkehr übergreifende Maßnahmen	
Mineralölsteuer (real, zu Preisen von 1997)	Vergaserkraftstoff: 1,20 Euro/l Diesel:1,20 Euro/l
Tankstellenpreis (real, zu Preisen von 1997)	Vergaserkraftstoff: 1,66 Euro/l
	Diesel: 1,68 Euro/l
Kfz-Steuer	Emissionsabhängige Kfz-Steuer wie bisher
Parkraumbewirtschaftung in Städten	im Mittel 2,05 Euro/h (zu Preisen von 1997)
Harmonisierung von Steuern und Abgaben in der EU	Harmonisierung auf hohem Niveau
4.2 Personenverkehr	
Kilometerpauschale	Abschaffung
Kerosinsteuer	Kerosinsteuer von real 0,30 Euro/l bis 2020 (auf Kerosinpreis von 0,21 Euro/l ,Stand 2000, und zu kombinieren mit Emissionsabgabe, s.u.)
Emissionsabgabe im Luftverkehr	Abgabensatz von real 1,62 Euro/l (umgerechnet auf 1 l Kerosin) bis 2020 (CO_2- und NOx-Emissionen) (auf Kerosinpreis von 0,21 Euro/l Stand 2000, und zu kombinieren mit Kerosinsteuer, s.o.)
Mehrwertsteuer im grenzüberschreitenden Luftverkehr	Aufhebung der Befreiung
4.3 Güterverkehr	
Autobahn-/Straßenbenutzungsgebühr	Für alle Fahrzeuge > 3,5 t zul. GG wird auf dem gesamten Straßennetz eine fahrleistungsabhängige Maut eingeführt; sie liegt fahrzeuggrößenabhängig zwischen 0,20 Euro und 0,51 Euro/Fzkm

Handlungs-/Maßnahmenbereich	Maßnahme
5. Technologiepolitik	
5.1 Personen- und Güterverkehr übergreifende Maßnahmen	
Systeme und Dienste kollektiver Verkehrsbeeinflussung	Verkehrsfunk (RDS/TMC), Parkleitsysteme v.a. für den motorisierten Straßenverkehr ÖPNV: rechnergestützte Betriebsleitsysteme, die dem ÖPNV an den Lichtsignalanlagen konsequenten Vorrang einräumen, flächendeckend in allen Großstädten
6. Öffentlichkeitsarbeit/Schulung	
6.1 Personen- und Güterverkehr übergreifende Maßnahmen	
Soft policies	Öffentlichkeitsarbeit zur Bedeutung des Klimaschutzes bei Organisation des Verkehrs
6.2 Personenverkehr	
Informationspolitik	Informations- und Imagekampagnen zur Förderung energiesparsamer Verkehrsmittelbenutzung Informationspolitik zu den Schadenswirkungen des Luftverkehrs
6.3 Güterverkehr	
Imagebildung	Abgestimmte Werbekampagnen für kombinierte Verkehre Etablierung der Prädikate „umweltfreundlich“ und „verlässlich“ für Bahn und Schifffahrt
Verhaltensmuster	Förderung der Bereitschaft zur langfristigen Einbindung des Schienen- und Schiffstransports in verkehrsträgerübergreifende Logistikketten
7. Siedlungsstrukturpolitik	
7.1 Personen- und Güterverkehr übergreifende Maßnahmen	
Raumordnungs- und Städtebaupolitik	Baurechtliche Beschränkungen der Kommunen hinsichtlich der Errichtung von Siedlungen, Gewerbe- und Einkaufszentren, Verdichtung der Landnutzung für Wohn- und Gewerbezwecke
Quellen: BVU, ifo, ITP, PLANCO und Prognos; DIW.	

Die Verkehrsteilnehmer, die von einer Verteuerung des motorisierten Individualverkehrs betroffen sind, müssen im öffentlichen Verkehrssystem und bei den Verkehrsbedingungen für Radfahrer und Fußgänger ein Angebot vorfinden, das eine Verlagerung von Fahrten als mögliche und akzeptable, wenn nicht sogar als attraktive Alternative ausweist. Es wird daher in dem Nachhaltigkeitsszenario unterstellt, dass das Angebot der öffentlichen Verkehrsarten sowie im nichtmotorisierten Verkehr mit den Mitteln der Infrastrukturpolitik, einem verbesserten Angebots- und Nachfragemanagement, sowie stärkerem Wettbewerb qualitativ und quantitativ erweitert wird.

Bei den Verkehrsleistungen (Personenkilometer) fällt der Rückgang des motorisierten Individualverkehrs mit 14 % gegenüber dem Trendszenario geringer aus als bei den Fahrleistungen (bessere Auslastung der Pkw) Die Eisenbahn und der öffentliche Straßenpersonenverkehr nehmen gegenüber der Trendentwicklung um jeweils rund ein Drittel zu. Für den Luftverkehr ergibt sich ein Rückgang der Verkehrsleistungen gegenüber der Trendentwicklung von rund 20 %. Die über alle Verkehrsarten zusammengefassten Verkehrsleistungen vermindern sich im Nachhaltigkeitsszenario gegenüber der Trendentwicklung um 6 % (Tabelle 5.5-6).

Tabelle 5.5-6 Fahrleistungen im Straßenpersonen- und Straßengüterverkehr sowie Verkehrsleistungen im Personen- und Güterverkehr 1997 und 2020

	1997	Trend	Nachhaltigkeit	Trend	Nachhaltigkeit	Nachhaltigkeit zu Trend 2020 in %
		2020		Veränderungen 2020 gegenüber 1997 in %		
	Fahrleistungen in Mrd. km					
Personenverkehr						
Motorisierter Individualverkehr (Pkw und Zweiräder)	539,2	685,1	562,6	27,1	4,3	-17,9
Omnibusse	3,7	3,6	4,5	-3,4	21,6	26,0
Güterverkehr						
Lastkraftwagen	54,6	70,3	64,0	28,8	17,2	-9,0
Sattelzugmaschinen	10,6	21,2	15,0	100,0	41,5	-29,2
Güterverkehr insgesamt	65,2	91,5	79,0	40,3	21,2	-13,7
dar.: Fernverkehr	21,2	35,8	26,3	68,9	24,1	-26,5
	Verkehrsleistungen im Personenverkehr (in Mrd. Pkm)					
Motorisierter Individualverkehr (Pkw und Zweiräder)	750	957	824	27,7	9,9	-14,0
Eisenbahnen	74	90	121	22,0	63,0	33,5
ÖSPV	83	77	103	-6,8	24,6	33,6
Luftverkehr (territorial)	36	95	74	163,3	105,3	-22,0
Nicht motorisierter Verkehr	54	52	70	-3,9	29,6	34,8
Insgesamt	997	1272	1192	27,6	19,6	-6,3
	Verkehrsleistungen im Güterverkehr (in Mrd. tkm)					
Straßengüternahverkehr	67	85	91	28,4	37,4	7,0
Straßengüterfernverkehr	236	454	371	92,7	57,3	-18,4
Eisenbahnen	73	95	140	30,1	92,0	47,6
Binnenschifffahrt	62	93	106	49,1	70,7	14,5
Insgesamt	437	727	708	66,3	62,0	-2,6

Quellen: BVU; ifo; ITP; Planco; Prognos; Berechnungen des DIW Berlin.

Im Güterverkehr wird das Verhältnis der Transportkosten zwischen dem Straßengüterverkehr einerseits und Bahn und Binnenschifffahrt andererseits zugunsten der letzteren geändert.. Die

Engpassbeseitigung im Netz der Eisenbahnen und in den Umschlagzentren für den Kombinierten Verkehr, die erhöhte Durchlassfähigkeit der Strecken und die generelle Verkürzung der Transportzeiten sind notwendige flankierende Maßnahmen, damit die von den preispolitischen Instrumenten induzierten „potenziellen" Verkehrsverlagerungen auch realisiert werden können. Transportverlagerungs- und -vermeidungseffekte führen beim Straßengüterfernverkehr zu einer Verringerung des Verkehrsaufkommens um ein Siebentel, die Verkehrsleistung geht sogar um fast ein Fünftel zurück. Verkehrsverlagerungen, die Transportvermeidungseffekte sowie die höhere Auslastung der Lkw bewirken außerdem eine erhebliche Reduktion der Fahrleistungen. Per saldo werden die Fahrleistungen zwar auch unter den Nachhaltigkeitsbedingungen immer noch knapp ein Viertel über dem Basiswert 1997 liegen, dennoch ist die Abnahme im Fernverkehr gegenüber dem Trendszenario um mehr als ein Viertel beträchtlich.

Die vorrangig unter Klimaschutzgesichtspunkten ausgewählten Maßnahmen des Nachhaltigkeitsszenarios[146] - vor allem die unterstellte kräftige Energieverteuerung - bewirken insgesamt bis 2020 eine Reduktion der verkehrsbedingten CO_2-Emissionen um 17 % gegenüber 1990.

Im Vergleich zum Trendszenario könnten die CO_2-Emissionen im Jahre 2020 um knapp 29 % geringer ausfallen (vgl. Tabelle 5.5-7 und Tabelle 5.5-8).

Zum Emissionsrückgang im Nachhaltigkeitsszenario trägt allerdings ausschließlich der Personenverkehr bei (1990/2020: -36 %), während es im Güterverkehr nach wie vor zu einem Emissionsanstieg - um rund 39 % - kommt. Gegenüber dem Trendszenario, in dem die Emissionen im Güterverkehr von 1990 bis 2020 noch um reichlich 70 % steigen könnten, bedeutet dies aber schon eine beträchtliche Abschwächung.

Die Emissionen im Straßenverkehr, dem mit einem Anteil von rund drei Vierteln im Jahre 2020 (1990: 85 %) nach wie vor größten Emittenten innerhalb des Verkehrs, sind im Trendszenario im Jahr 2020 noch um 3 % höher, im Nachhaltigkeitsszenario aber um rund ein Viertel niedriger als 1990. Höhere Emissionen als 1990 weisen im Nachhaltigkeitsszenario 2020 lediglich die Binnenschifffahrt (+29 %) und – insbesondere – der Luftverkehr (+90 %) auf.

---

[146] Es ist zu beachten, dass bei den hier zu Grunde gelegten Daten die Emissionen im Luftverkehr nach dem Standortprinzip berechnet wurden.

Tabelle 5.5-7 CO_2-Emissionen im Sektor Verkehr im Trend- und Nachhaltigkeitsszenario bis 2020

	1990	1997	Trend	Nachhaltigkeit
			2020	
	Mio.t CO_2			
Personenverkehr	163,5	160,3	160,7	105,2
Straße	142,0	136,0	114,0	73,1
Schiene	8,3	7,2	7,5	6,5
Luft[1)]	13,2	17,1	39,2	25,6
Güterverkehr	56,0	67,0	95,8	77,8
Straße	45,2	58,0	78,9	65,5
Schiene	4,9	2,9	3,0	3,0
Wasser	2,4	2,2	3,3	3,1
Luft[1)]	3,5	3,8	10,6	6,2
Gesamtverkehr	219,4	227,2	256,5	183,0
Straße	187,2	194,0	192,9	138,6
Schiene	13,2	10,1	10,5	9,5
Wasser	2,4	2,2	3,3	3,1
Luft[1)]	16,7	20,9	49,8	31,8

[1)] Emissionen im Luftverkehr nach dem Standortprinzip.
Quelle: Berechnungen des ifeu.

Tabelle 5.5-8 Veränderungen der CO_2-Emissionen im Sektor Verkehr im Trend- und Nachhaltigkeitsszenario bis 2020

	Trend 2020 gegenüber 1990		Nachhaltigkeit 2020 gegenüber 1990		Nachhaltigkeit zu Trend 2020 in %
	in %	in %/a	in %	in %/a	
Personenverkehr	-1,7	-0,1	-36,0	-1,9	-34,5
Straße	-19,7	-1,0	-48,5	-2,8	-35,9
Schiene	-9,5	-0,4	-21,7	-1,1	-13,5
Luft	197,0	4,8	98,9	3,0	-34,7
Güterverkehr	71,2	2,4	39,1	1,4	-18,8
Straße	74,6	2,5	44,9	1,6	-17,0
Schiene	-39,2	-2,1	-39,1	-2,1	0,0
Wasser	37,9	1,4	28,8	1,1	-6,6
Luft[1)]	207,2	5,0	80,3	2,6	-41,3
Gesamtverkehr	16,9	0,7	-16,8	-0,8	-28,7
Straße	3,0	0,1	-25,7	-1,3	-28,1
Schiene	-20,6	-1,0	-28,9	-1,5	-9,6
Wasser	37,9	1,4	28,8	1,1	-6,6
Luft[1)]	199,1	4,9	90,4	2,8	-36,1

[1)] Emissionen im Luftverkehr nach dem Standortprinzip.
Quelle: Berechnungen des IFEU Heidelberg.

Will man die langfristigen Minderungsziele beim Kohlendioxid nicht weiter verfehlen, sind insbesondere im Güterverkehr zusätzliche Maßnahmen erforderlich. Weitergehende Maßnahmeszenarien sind jedoch nicht berechnet worden.

5.5.3.3 Die Entwicklung nach 2020

Quantitative Aussagen über die Verkehrsentwicklung im Zeitraum nach 2020 sind außerordentlich problematisch. Im Personenverkehr zeigen Sensitivitätsrechnungen in Bezug auf die Bevölkerungsentwicklung, dass bei einem möglichen Rückgang der Bevölkerung ab 2030 die damit verbundene Reduktion der Verkehrsleistungen nicht so kräftig ausfallen dürfte, dass eine wesentliche Annäherung an die Nachhaltigkeitsziele für 2030 und 2050 deutlich befördert würde. Geht man dagegen von einer zwischen 2020 und 2050 gleich bleibenden Bevölkerungszahl aus, ergibt sich sogar noch eine geringfügige Zunahme der Verkehrsleistungen.

Der Beitrag von Verhaltensänderungen der Verkehrsteilnehmer zu einem „nachhaltigen“ Verkehrssystem wird unter Status-quo–Bedingungen auch nach dem Jahr 2020 begrenzt bleiben. Der größere Teil der Verminderung von CO_2-Emissionen wird auch in der ferneren Zukunft durch technische Verbesserungen erbracht werden müssen. Dazu wird es zwingend notwendig sein, die technischen Möglichkeiten, den Verbrauch von fossiler Energie einzuschränken, soweit wie möglich auszuschöpfen. Ohne eine begleitende Preispolitik als Anreiz, energiesparende Technik zu verwenden, dürfte dies kaum möglich sein.

Auf den Güterverkehrsmärkten nach 2020 sind ebenfalls keine autonomen Entwicklungen absehbar, die die CO_2-Problematik geringer werden ließen. Inwieweit nach 2020 die technische Entwicklung (Antriebstechniken, erneuerbare Energieträger) hier für Entlastung sorgen kann, bleibt abzuwarten. In jedem Fall scheint es angebracht, die preispolitischen Maßnahmen des "Nachhaltigkeitsszenarios" auch nach 2020 auf die Güterverkehrsmärkte einwirken zu lassen. Dies begünstigt und fördert einerseits die Entwicklung umweltfreundlicherer Technik und erreicht andererseits auch die für mehr Umweltverträglichkeit wichtigen Ansatzebenen Transportverlagerung und Transportvermeidung.

Langfristiges Ziel muss es sein, die Verkehrsintensität wieder erheblich zu vermindern. Die Koordinierung der verschiedenen politischen Ebenen (EU-Ebene, national, regional/lokal) und der integrierte Einsatz der jeweils zur Verfügung stehenden Instrumente (EU: Preispolitik, Internalisierung der externen Kosten, Umweltverträglichkeitsprüfungen für die Transeu-

ropäischen Netze; national: verschärfte Umweltverträglichkeitsanforderungen für die Verkehrsplanungen des Bundes sowie bessere Abstimmung mit den Verkehrsplanungen der Länder und Kommunen; lokal/regional: stärkere Verzahnung von Städtebau-, Gewerbe-, Infrastruktur- und Verkehrsplanung) scheint langfristig der erfolgversprechendste Weg, um eine behutsame Verringerung der Transportintensität und damit auch eine Entkoppelung von Wirtschafts- und Verkehrswachstum zu bewirken.

Technische Reduktionspotentiale beim Energieverbrauch und den Kohlendioxidemissionen bestehen zunächst in einer weiteren Verbesserung des Wirkungsgrades von Verbrennungsmotoren, die auch in den nächsten Jahrzehnten das Rückgrat des Straßen-, Wasser- und Luftverkehrs bilden werden. Darüber hinaus sind beim Pkw weitere Einsparungen durch "down sizing" der Motoren, Energierückgewinnung, Verzicht auf Raumgröße und Komfort, Gewichtsreduzierung etc. möglich. Alle Verkehrsträger können und werden in ihren Basisgewichten, in ihrem Luft- bzw. Wasserwiderstand, in ihrem Verhältnis Eigengewicht zu Ladungsgewicht usw. weiter verbessert.

Prinzipiell besteht auch kein Zweifel daran, dass regenerative Energien im Verkehrsbereich eingesetzt werden und damit über die Erzeugungskette bzw. die Eigenschaften der Energieträger zu einer Minderung der Kohlendioxidemissionen beitragen können. Auf diese Weise würden sie Minderungsraten realisieren helfen, die den langfristigen Klimazielen (2030: -50 %; 2050: -80 %) entsprechen. Allerdings sind die verfügbaren Mengen an regenerativen Energieträgern auf absehbare Zeit begrenzt; es wird noch mehrere Jahrzehnte dauern, bis Erzeugungskapazitäten, Infrastrukturen und international stabile Mechanismen geschaffen sind, um die benötigten Mengen verfügbar zu machen. Zudem ist aus heutiger Sicht zu erwarten, dass der Einsatz regenerativer Energieträger in der stationären Anwendung mehr Kohlendioxid mit besseren Wirkungsgraden einspart als in der mobilen Anwendung. Deshalb ist mit der Feststellung, dass regenerative Energieträger im Grundsatz zu einer Entlastung der Klimabilanz des Verkehrs beitragen können, noch keine Aussage über die realisierten Potenziale an regenerativen Energieträgern, über den dafür diskutierten Zeitraum sowie über die Verfügbarkeit für den Verkehrssektor gemacht. Immerhin zeigen die Szenarien für die Enquete-Kommission, dass Biokraftstoffe längerfristig durchaus einen wichtigen Beitrag zur Deckung der verkehrsbedingten Energienachfrage leisten können (vgl. Kapitel 5.5.2).

Literatur zu den Kapiteln 3.5 und 5.5

ACEA (1999) 1999/125/EG: Empfehlung der Kommission vom 5. Februar 1999 über die Minderung der CO2-Emissionen von Personenkraftwagen (bekannt gegeben unter Aktenzeichen K(1999) 107) (Text von Bedeutung für den EWR); Amtsblatt nr. L 040 vom 13/02/1999 S. 0049 - 0050.

Bach, S. und Kohlhaas, M. (1999): Nur zaghafter Einstieg in die ökologische Steuerreform. In: Wochenbericht des DIW Berlin, H. 36.

BMVBW: Investitionsprogramm der Bundesschienenwege, Bundesfernstraßen und Bundeswasserstraßen 1999 bis 2002. Berlin, 1999.

BSV (2001): BSV Büro für Stadt- und Verkehrsplanung: Gesamtwirkungsanalyse zur Parkraumbewirtschaftung. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik, Heft V 75. Bergisch Gladbach.

Bundesgesetzblatt (2000): Gesetz zur Einführung einer Entfernungspauschale. In: Bundesgesetzblatt, Teil 1, Nr. 59/2000 vom 28.12.2000, S. 1918ff.

Bundesministerium für Verkehr (Hrsg.): Verkehr in Zahlen; bearbeitet vom DIW (Radke, S.); Erscheinungsweise jährlich; Bonn/Berlin.

Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen: Nationaler Radverkehrsplan 2002-2012-FahrRad! Maßnahmen zu Förderung des Radverkehrs in Deutschland. Berlin 2002.

Büro für Technikfolgenabschätzung (2001): Zum Entwicklungsstand der Brennstoffzellen-Technologie. TAB-Arbeitsbericht Nr. 51.

BVL in Kooperation mit DAV und ISL (2000): Intermodaler Verkehre in logistischen Transportketten. Projekt im Auftrag des BMVBW (FE-Vorhaben: 96.642/2000).

BVU, ifo, ITP und Planco (2001): Verkehrsprognose 2015 für die Bundesverkehrswegeplanung - Schlussbericht. Gutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (FE-Nr.96.578/1999). München/Freiburg/Essen.

Deutscher Bundestag (2000): Nationales Klimaschutzprogramm; Fünfter Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe "CO2-Reduktion"; Unterrichtung durch die Bundesregierung; Drucksache 14/4729; 14.11.2000.

Deutscher Bundestag: Endbericht der Enquête -Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“, eingesetzt durch Beschluss der Bundesregeierung vom 17. Februar 2000. In: Drucksache 14/9400 vom 07.07.2002.

DIW (Projektleitung), ifeu, IVU, HACON (1994): Verminderung der Luft- und Lärmbelastungen im Güterfernverkehr 2010. Gutachten im Auftrag des Umweltbundesamtes (Forschungsbericht 104 05 962). In: Berichte des Umweltbundesamtes Nr.5/1994.

DIW, FhG-ISI, Öko-Institut, STE (1997): Stein G. und Strobel B. (Hg.): Politikszenarien für den Klimaschutz, Untersuchungen im Auftrag des Umweltbundesamtes. Band 1, Szenarien und Maßnahmen zur Minderung von CO_2-Emissionen bis zum Jahre 2005.Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt Band 5. Jülich.

European Commission's Directorate-General for Environment (2002): Fiscal Measures to Reduce CO2 Emissions from New Passenger Cars (COWI 2002). Brüssel.

Fraunhofer-Arbeitsgruppe ATL, Nürnberg und DIW Berlin(Nov. 2003, vorläufiger Endbericht): Fallstudien zu Wirkungen des eCommerce für Transportleistungen, Verkehrs- und Logistiksystemänderungen. Gutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW). Berlin, Nürnberg.

Gesetz zum Einstieg in die ökologische Steuerreform, Bundesgesetzblatt I, S. 378, 1999.

Hopf, R. et al. (1990): Entwicklung der Verkehrsnachfrage im Personen- und Güterverkehr und ihre Beeinflussung durch verkehrspolitische Maßnahmen (Trendszenario und Reduktions-Szenario) - Endbericht zum Studienschwerpunkt A.6.1. Gutachten des DIW im Auftrage der Enquête-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" des Deutschen Bundestages. Berlin.

Hopf, R. et al. (1996): Effizienz von Maßnahmen zur Verbrauchseinschränkung bei Mineralölversorgungsstörungen. Gutachten des DIW im Auftrag des Bundesministers für Wirtschaft. Berlin.

Hopf, R. und Voigt, U.: Instrumente und Maßnahmen einer nachhaltigen Energieversorgung. Entwicklungspfade im Bereich Mobilität. Gutachten im Auftrag des Deutschen Bundestages vorgelegt dem Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag, Berlin Dez. 2001 (Veröffentlichung in Vorbereitung), http://europa.eu.int/comm/environment/co2/cowi_finalreport.pdf

IER/WI (Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung der Universität Stuttgart) (2001): Verkehrsrahmenprognose bis 2050. Im Auftrag der Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung“ des Deutschen Bundestages.

IFEU (2001): Aktualisierung des „Daten- und Rechenmodells: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1980-2020”; Entwurf des Endberichts; Im Auftrag des Umweltbundesamtes; UFOPLAN Nr. 201 45 112. Heidelberg.

IWW (2001): Anforderungen an eine umweltorientierte Schwerverkehrsabgabe. Forschungs- und Entwicklungsvorhaben 200 96 130 des Umweltbundesamtes. Karlsruhe.

JAMA (2000) 2000/304/EG: Empfehlung der Kommission vom 13. April 2000 über die Minderung von CO2-Emissionen von Personenkraftwagen (JAMA) (bekannt gegeben unter Aktenzeichen K(2000) 803) (Text von Bedeutung für den EWR); Amtsblatt nr. L 100 vom 20/04/2000 S. 0057.

Koalitionsvereinbarung zwischen der Sozialdemokratischen Partei Deutschlands und Bündnis90/Die Grünen: Erneuerung – Gerechtigkeit – Nachhaltigkeit, Berlin Oktober 2002, S.41ff.

Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2001): Mitteilung der Kommission an den Rat, das Europäische Parlament, den Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen über alternative Kraftstoffe für den Straßenverkehr und ein Bündel von Maßnahmen zur Förderung von Biokraftstoffen. KOM(2001) 547, Brüssel, den 7. November 2001.

Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2001): Weißbuch - Die europäische Verkehrspolitik bis 2010: Weichenstellungen für die Zukunft. Brüssel.

Kremers, H./Nijkamp, P./Rietveld, P. (2000): A Meta-Analysis of Price Elasticities of Transport Demand in a General Equilibrium Framework. Tinberg Institute Discussion.

Kunert, U.: Kfz-Steuerreform: Nur geringe Umweltentlastung zu erwarten. In: Wochenbericht des DIW Berlin, Nr. 35/97, S. 625 ff.

OECD (2000): Environmentally Sustainable Transport: Futures, Strategies and Best Practices. Synthesis Report of the OECD Project on Environmentally Sustainable Transport EST, presented on occasion of the International *est!* Conference 4th to 6th October 2000. Vienna.

Oum, T. Waters, W. und Young, J. (1992): Concepts of price elasticities of transport demand and recent empirical estimates. In: Journal of Transport Economics and Policy, 26. Jg. Heft 2, S.139 ff.

Prognos AG (2001): Erarbeitung von Entwürfen alternativer verkehrspolitischer Szenarien zur Verkehrsprognose 2015. Schlussbericht zu Projekt-Nr. 96.579/1999/ im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen. Basel.

Rennings,K., Brockman, K. L., und Bergmann, H: Möglichkeiten und Grenzen von freiwilligen Umweltschutzmaßnahmen der Wirtschaft unter ordnungspolitischen Aspekten. In: future-Magazin "Unternehmen und Umwelt" 1/97.

Statistisches Bundesamt (2000): Bevölkerungsentwicklung Deutschlands bis zum Jahr 2050, Ergebnisse der 9. Koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung. Wiesbaden.

Statistisches Bundesamt (2001): Fachserie 15, Wirtschaftsrechnungen - Einkommens- und Verbrauchsstichprobe; Heft 4, Einnahmen und Ausgaben privater Haushalte. Wiesbaden.

Storchmann, K.H. (1997): Europäische Umweltabgabe auf den Pkw-Verkehr? – Empirische Analyse der Kraftstoffnachfrage. In: Zeitschrift für Verkehrswissenschaft, 68. Jg., Heft 4, S.249 ff., Köln.

Storchmann, K.H. (2001): The impact of fuel taxes on public transport – an empirical assessment for Germany. In: Transport Policy, Vol. 8, p. 19-28.

TÜV Rheinland Sicherheit und Umweltschutz GmbH (TSU), Deutsches Institut für Wirtschaftforschung (DIW Berlin), Wuppertal Institut (WI) und Forschungsstelle für Europäisches Umweltrecht an der Universität Bremen (2001): Maßnahmen zur verursacherbezogenen Schadstoffreduzierung des zivilen Luftverkehrs. Gutachten im Auftrag des Umweltbundesamtes. In: Texte des Umweltbundesamtes, Heft 17/01. Berlin.

Umweltbundesamt (2003): CO_2-Minderung im Verkehr - Ein Sachstandsbericht des Umweltbundesamtes - Beschreibung von Maßnahmen und Aktualisierung von Potenzialen. Berlin,

ViZ: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (Hg.), Bearb.: Radke, S. (DIW): Verkehr in Zahlen. Hamburg, Diverse Jahrgänge.

Voigt, U. (2000): Weiter wachsende Bedeutung der privaten Ausgaben für den motorisierten Individualverkehr. In: Wochenbericht des DIW, Nr. 9.

Voigt, U.(1999): Ökonomische Belastungswirkungen im Verkehrsbereich. In: DIW u.a.: Anforderungen an und Anknüpfungspunkte für eine Reform des Steuersystems unter ökologischen Aspekten. Berlin.

Wieland, B. (2001): Sustainable Growth – The Economist’s View. University of Technology, Dresden. www.tu-dresden.de/vkiwv/vwipol/home.htm

5.6 Zusätzlich veränderte Dienstleistungen (Fraunhofer ISI)

Wie in Kapitel 3.6 und bei den grundsätzlichen Überlegungen zur Szenariobildung (vgl. Kapitel 2.4) bereits angedeutet, werden die Nachhaltigkeits-Politiken auf EU-, nationaler und Länder-Ebene sowie die Unternehmen aus Gründen der Kosteneffizienz versuchen, Emissionsminderungen nicht nur durch eine effizientere Nutzung von Energie und Substitution emissionsintensiver Prozesse, Produkte und Brennstoffe durch wenig oder nicht-emittierende Verfahren, Produkte und Energieträger zu erreichen; vielmehr werden sie auch andere, geeignete Strategien verfolgen, die einerseits die Energie- oder Materialdienstleistungen nicht schmälern, aber andererseits Treibhausgas induzierende Größen zu vermindern suchen, solange hiermit kosteneffiziente Treibhausgas-Minderungen erreichbar sind.

Diese zusätzlichen Handlungsspielräume wurden in bisher erstellten Szenarien, sei es dieser Analyse (vgl. Kapitel 4) und anderer Analysen nicht untersucht (Ausnahmen: Kapitel 5.5 zu den Verkehrsleistungen sowie Enquete-Kommission 2002, S.312-343), obwohl diese Strategien von Material- und Kapital-Effizienz (im weitesten Sinne) sehr kostengünstige Optionen (zum Teil auch mit erheblichen positiven Nebennutzen, siehe OECD 2003) eröffnen können. Da diese Optionen bisher auch kaum Gegenstand von politik-orientierten Analysen waren (mit Ausnahme des Verkehrs, vgl. Kapitel 5.5), kann man davon ausgehen, dass in diesen Bereichen auch noch unentdeckte Ressourcen-Effizienzpotenziale liegen, die erst ins Bewusstsein der Akteure und Zielgruppen gehoben werden müssen. Aufgrund der geringen analytischen Durchdringung dieser Optionen in der Vergangenheit werden die folgenden Überlegungen keinen Anspruch an Vollständigkeit haben, sondern eher den Stand der (beschränkten) Erkenntnisse spiegeln und exemplarisch weitere bisher nicht untersuchte Bereiche, z.B. in den Konsum- und Essgewohnheiten andeuten.

5.6.1 Referenzentwicklung sowie das Materialeffizienz- und Nachhaltigkeits-Szenario

In Anlehnung an die in Kapitel 3.6 erläuterten Potenziale durch Verminderung der energiebedarfsbestimmenden Größen werden zunächst ihre alternativen Entwicklungsmöglichkeiten im Bereich energieintensiver Werkstoffe sowie einiger anderer ressourcenbestimmender Größen (z.B. Wohnflächen, Carsharing-Teilnehmer, Fleischproduktion) exemplarisch aufgeführt (vgl. Tabelle 5.6-1) und dann ihre entsprechenden Energie- bzw. Emissionsminderungspotenziale dargestellt (vgl. Tabelle 5.6-2). Während die Annahmen zu den energieintensiven Materialien

ausführlich in der jüngst beendeten Analyse von Schön et al. (2003) beschrieben sind, seien die Annahmen für die sonstigen energiebedarfs- bzw. emissionsbestimmenden Größen im Folgenden kurz erläutert:

- Während die *Wohnflächen* im Referenz-Szenario von 3,117 Mrd. m^2 auf 3,84 Mrd. m^2 in 2030 zunehmen, wird im Materialeffizienz- und Nachhaltigkeits-Szenario unterstellt, dass 50 000 Umzugshilfen für ältere Menschen im Jahre 2010 zu einem Flächengewinn von 1 Mio. m^2 und in 400 000 Fällen im Jahr 2030 zu einem Minderbedarf von 8 Mio. m^2 führen. Diese Schätzung verändert den gesamten Wohnflächenbedarf von 2030 um kaum mehr als zwei Promille, was aber angesichts der bis dahin erheblich älteren Bevölkerung auch eine Unterschätzung sein mag, wenn man noch häufigeres Wohnen in Wohngemeinschaften älterer Menschen oder häufiges Leben in Altersheimen in 30 Jahren unterstellt. Bei einem durchschnittlichen Primärenergiebedarf je Wohnfläche von 170 kWh/m^2 und Jahr errechnet sich somit eine Einsparung von 2,5 PJ für das Jahr 2030 aufgrund der unterstellten Umzugshilfen.

Tabelle 5.6-1 Energiebedarfs- und emissionsbestimmende Größen, Referenz- sowie Materialeffizienz- und Nachhaltigkeits-Szenario, 2000 - 2030

Energiebedarfs-bestimmende Größe	Dimension	2000	Referenz-Szenario 2010	Referenz-Szenario 2030	Materialeffizienz und Nachhaltigkeits-Szenario 2010	Materialeffizienz und Nachhaltigkeits-Szenario 2030
• **energieintensive Grundstoffe**						
- Zement	Mio. t	36,05	35,0	33,50	34,5	32,0
- Rohstahl	Mio. t	46,38	43,5	41,3	43,0	40,0
Anteil Elektrostahl	%	28,7	30,0	33,0	32,0	45,0
- Ziegel	Mio. t	17,0	17,0	16,0	16,5	15,0
- Glas	Mio. t	6,61	6,8	6,9	6,75	6,75
- Sekundäraluminium	Mio. t	0,572	0,81	1,22	0,80	1,15
- Polymere	Mio. t	14,2	17,5	23,0	16,5	20,0
- Bitumen	Mio. t	3,3	3,3	3,0	3,2	2,9
- Papier	Mio. t	18,2	20,0	25,9	20,0	19,7
• **Wohnfläche**	Mio. m^2	3117	3409	3840	3408	3836
• **Car Sharing**	1000 Pers	55	200	1650	400	3300
• **Fleischerzeugnisse**	Mio. t	6,75	6,7	6,5	6,20	5,4
darunter Rind	Mio. t	1,34	1,33	1,30	1,25	1,1

Quellen: Schön et al. 2003, Walz et al. 2001, Prognos 2001, eigene Annahmen

- *Carsharing* erscheint aus Gründen des theoretisch größeren Potenzials (derzeit sind 0,2 % der 50 Mio. Führerscheinbesitzer Mitglied einer Carsharing Organisation) deutlich interessanter, bei dem im Referenzfall bis 2030 von einem Anteil von 2 % der Führerscheinbesitzer (Walz et al. 2000) und für das Materialeffizienz- und Nachhaltigkeits-Szenario von 6 %, d.h. von 3,3 Mio. Menschen ausgegangen wurde. Wenn erfahrungsgemäß auf ein Carsharing-Fahrzeug etwa 27 Mitglieder kommen und etwa drei Führerscheinbesitzer auf einen Pkw-Besitz, dann würden vielleicht – unter Berücksichtigung weiterer Einkommenszuwächse – etwa fünf bis acht Pkw durch ein Carsharing-Fahrzeug ersetzt. Bei einem

für 2030 unterstellten Carsharing-Fahrzeugbestand von etwa 100.000 würden somit etwa 500 000 bis 800 000 Pkw oder bis zu 2 % des Pkw-Bestandes sowie manche Kurzstreckenfahrten vermieden. Die für die Erzeugung der nicht benötigten Pkw erforderlichen Energiemengen und für die entfallenden Kurzstreckenfahrten mit dem Pkw wird für 2030 eine Energieeinsparung von 15 PJ errechnet.

- Im Referenz-Szenario wird bei der *Fleischerzeugung* (2000: 6,75 Mio. t) – als hier gewähltes Beispiel für veränderbare Konsum- und Essgewohnheiten - davon ausgegangen, dass der Fleischkonsum auf dem heutigen Niveau stagniert (in den 1990er Jahren war der Pro-Kopf-Fleischverbrauch um 9 % rückläufig) und die einheimische Fleischerzeugung, darunter Rindfleisch mit 1,34 Mio. t, beim heute erreichten Niveau bis 2030 stagniert. Im Material- und Nachhaltigkeits-Szenario wird davon ausgegangen, dass sich der Trend der 1990er Jahre zu vegetarischen und fleischarmen Essgewohnheiten weiter fortsetzt, zusätzlich unterstützt vom Alterungsprozess der Bevölkerung, und die Fleischproduktion in 2030 gegenüber 2000 um 20 % reduziert ist. Mit der Annahme eines spezifischen Primärenergiebedarfs für die Herstellung von Rindfleisch (Landwirtschaft, Düngemittel, Stallhaltung, Schlachtung, Kühlung und Transport von 1,5 MJ/kg ergibt sich für die reduzierte Produktion des Nachhaltigkeits-Szenarios eine Primärenergieeinsparung von 0,4 PJ.

Wichtig für diese Annahmen ist, dass in keinem Fall eine Suffizienzstrategie unterstellt wurde, sondern dass die gewünschten Energiedienstleistungen (Wohnen, Mobilität, Nahrung) der beiden Szenarien von Referenz bzw. Materialeffizienz und Nachhaltigkeit unverändert sind. Hierbei sei nochmals betont, dass diese Überlegungen zur Reduktion energiebedarfsbestimmender Größen lediglich im Bereich der energieintensiven Materialien bereits systematisch durchgeführt wurden, während sie für die übrigen Bereiche von Wohnen, Mobilität, Essen oder industrielle Produktion hiermit nur exemplarisch angedeutet wurden und unbekannte weitere Reduktionspotenziale bestehen dürften.

5.6.2 Diskussion des Materialeffizienz- und Nachhaltigkeits-Szenarios und politische Maßnahmen zu dessen Realisierung

Mit den o.g. veränderten energiebedarfs- und emissionsbestimmenden Größen wurde dann der vermiedene Primärenergiebedarf ermittelt (vgl. Tabelle 5.6-2), wobei vereinfachend die relativen Verminderungen des Energiebedarfs mit denjenigen der CO_2–Minderung gleichgesetzt werden können. In der Referenzentwicklung ergeben sich im Bereich der Materialeffizienz vergleichbare Energieeinsparungen in Höhe von etwa 150 PJ, d.h. gut 1 % des heutigen Energiebedarfs für die kommenden drei Jahrzehnte, wie sie in den letzten drei Jahrzehnten beobachtet wurden (ca. 180 PJ). Allerdings verschieben sich die Beiträge zu den Polymeren als relativ junge Werkstoffe, die noch ein erhebliches Recycling- und Effizienzpotenzial aufweisen, und zum Papier mit zwar geringeren Effizienzpotenzialen, aber hohen Tonnagen.

Tabelle 5.6-2 Energiebedarf und veränderte CO_2-Emissionen von Referenz- und Materialeffizienz-/Nachhaltigkeits-Szenario, 2000 bis 2030

Sektor / Anwendung	Heute bereits vermiedener PEV in PJ/a	Vermiedener PEV in PJ/a Referenzszenario		Vermiedener PEV in PJ/a Materialeff.+NH Szenario	
		2010	2030	2010	2030
Stahl	65[1)]	10	24[2)]	17	92[2)]
Aluminium	9[1)] Recycling	3 3 5	6 Recycling 7 Effizienz 10[2) 5)]	15 4 14[2)5)]	60 [9)] Recycl. 9 Effizienz 67[2) 5)]
Automobilbau (Leichtbau)	47[6)] Recycling	n. q.; Zunahme Recycling beschränkt		30	124[3)]Leichtbau
Beton / Beton-produkte	11[1)]	1	3[2)]	1	3[2)]
Ziegel	- 4[1)] (Zusatzauf-wand)	0	2	1	6[10)]
Glas	6 – 7[4)] Hohlglas 2 – 3[4)] Flachglas	2	8	10	48[3)]
Polymere	14[7)]	20	85[8)]	50	300[8)]
Bitumen	29[1)] Ausbauasphalt	1	3	0,5 3	1[8)] Ausbauas-phalt 11[8)] Industrie-asphalt
Papier	21[1)]	10[2)]	32[2)]	30[2)]	142[2)]
Wohnfläche	0	0,1	0,20	0,30	2,5
Car Sharing	sehr gering	1	5	4	15
Fleischerzeugnisse	sehr gering	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
- darunter Rind	≈ 0	0	0	0,1	0,4
Gesamteffekt (gerundet; Summen-bildung nur bedingt zulässig)	**> 180**	**≈ 50**	**> 150**	**≈ 200**	**≈ 800**

PEV ... Primärenergieverbrauch

1) Vergleich heute zu Basisjahr:(Stahl: 2000 / 1983; Aluminium: 2000 / 1974; Beton: 2000 / 1970; Ziegel: 2000 / 1970; Polymere: 1995 / 1970; Bitumen: 2002 / 1970; Papier: 2000 / 1970)
2) Vergleich zu auf heutigem Stand eingefrorener Recyclingquote und Werkstoffnutzungseffizienz für jeweiliges Szenario
3) PEV-Einspar-Potenzial (Obergrenze) gegenüber auf heutigem Stand eingefrorener Recyclingquote und Werkstoffnutzungseffizienz
4) Vergleich zum Fall ohne Recycling
5) gewichtete Summe
6) Theoretischer Wert für vollständiges PKW-Recycling in 2000; z. T. enthalten in Werten für Stahl und Alu.
7) Absolutwert für eingesparten PEV 1995 durch Recycling von Polymeren; ohne Abzug für deponierte Polymere
8) Potenzielle Zunahme gegenüber 1995; Berechnung für 2020
9) Überschneidungen mit Automobilbau. Aluminium-Trendszenario für Aluminiumanteile im Fahrzeug
10) Theoretischer Wert für reine Recyclingziegelproduktion in Höhe von 11,4 Mio. t

Im Materialeffizienz- und Nachhaltigkeits-Szenario ließen sich durch gezielte Maßnahmen Einsparungen von mindestens weiteren 400 PJ bis 650 PJ für die untersuchten Bereiche erzielen. Der obere Wert würde *eine zusätzliche CO_2–Emissionsminderung um rund 37 Mio. t* CO_2 oder rund 6 % im Reduktions-Szenario I bedeuten. Dieser Beitrag der Beeinflussung der energiebedarfsbestimmender Größen würde immerhin fast 40 % des Unterschiedes der CO_2–Emissionen zwischen Reduktions-Szenario I und II von 100 Mio. t CO_2 im Jahr 2030 betragen. Er wäre zu prüfen, ob ein Teil dieser Maßnahmenoptionen nicht wesentlich kostengünstiger zu nutzen wäre als die in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen technischen Maßnahmen zur Erreichung des Reduktionszieles von Reduktions-Szenario II.

Außerdem sei auf die häufig zu erwartenden *positiven Begleitnutzen* hingewiesen (z.B. geringerer Parkplatzbedarf und Parkplatzsuchverkehr im Falle des Carsharing, geringere Krankheitskosten bei älteren Menschen mit der geringeren Wohnungsgröße bzw. bei Menschen mit geringerem Fleischkonsum). Diese Aspekte positiver Netto-Nutzen aus privater und makroökonomischer Sicht sind in den bisherigen Analysen (sowie auch in der ökonomischen Bewertung in Kapitel 4) nicht behandelt; diese Praxis dürfte in vielen Fällen zu einer erheblichen Fehleinschätzung klimapolitischer Maßnahmen und Optionen führen (OECD 2003).

Allerdings sei hier ausdrücklich festgestellt, dass dieser Analysebereich der möglichen Veränderungen von energiebedarfsbestimmenden Größen durch organisatorische und unternehmerische Innovationen und entsprechende Maßnahmen bis heute sehr wenig untersucht ist. Ein weites, interessantes Feld von Lohnaufträgen im industriellen Bereich für energieintensive Produktionsschritte beispielsweise ist bis heute nicht einmal thematisiert (z.B. Lohnaufträge im Bereich der Pulverlackierung, einem sehr energieintensiven Verfahren, das häufig einschichtig in der mittelständischen Industrie eingesetzt wird, wären mit erheblichen Energieeinsparungen zu verbinden, und zwar nicht nur wegen geringerer Abfahr- und Anfahrverluste bei zwei- oder dreischichtigem Betrieb, sondern auch wegen der geringeren Kapitalkosten, die eine energieeffizientere Re-Investition der nächsten Anlagengeneration ermöglichen würde).

Außerdem ist derzeit völlig ungeklärt, in welchem Umfang die *alternde Bevölkerung bis 2030* infolge der altersspezifischen Konsum- und Lebensgewohnheiten im Bereich Verkehr, Wohnen und Freizeit zu einer merklichen Veränderung der energiebedarfsbestimmenden Größen kommen könnte. Es gibt Hinweise, dass dieser Effekt netto zu vermindertem Energiebedarf führen würde.

5.6.3 Die Entwicklung nach 2030

Man kann davon ausgehen, dass die technischen Möglichkeiten der Verminderung energiebedarfsbestimmende Größen bei gleicher Energiedienstleistung auch nach 2030 nicht erschöpft sein werden. Allerdings dürfte es wesentliche Verschiebungen von Material-Recycling zur Materialsubstitution, insbesondere zu biomasse-basierten Polymer-Werkstoffen, und zur Nutzungsintensivierung kommen. Beide technischen bzw. unternehmerischen Optionen sind heute praktisch noch nicht wirksam, dürften aber in einigen Jahrzehnten die Hauptursachen einer sich „dematerialisierenden“ Gesellschaft sein. Die genauen technischen Möglichkeiten, die hierzu die Gentechnik und die Materialwissenschaften liefern werden, sind heute noch weitgehend unbekannt; ebenso ist unbekannt, inwieweit die Werthaltung „Nutzen anstatt Besitzen“ in privaten Haushalten, Unternehmen und öffentlichen Einrichtungen neue Dienstleistungen zur effizienteren Nutzung des Kapitalstocks nach 2030 auf breite Akzeptanz stößt und zur nachhaltigen Entwicklung beitragen kann.

Literatur zu Kapitel 5.6

Enquête-Kommission "Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und Liberalisierung " (2002): Endbericht. Kap. 4.3.8. Deutscher Bundestag, BtDrs 14/9400, Berlin, S. 312-343

OECD (2003): Working Party on Global and Structural Policies: Estimating the benefits of climate change policies. 24-25 April 2003, Paris

Prognos (2001): Das Duale System in Deutschland – Nachhaltigkeitsbewertung und Perspektiven. Basel/Köln

Schön, M., Angerer, G., Eichhammer, W., Jochem, E., Wietschel, M. (2003): Systemanalyse zu den Kreislaufpotenzialen energieintensiver Werkstoffe und ihr Beitrag zur rationellen Energienutzung zwischen 1970 und 2030 in Deutschland. ISI-Bericht Karlsruhe

Walz, R. et al. (2001): Analyse der Wirkungen von Umweltschutzstrategien auf Wirtschaft und Arbeitsstrukturen. Forschungsbericht 297 14 206, UBA Berlin

5.7 **Nicht-energetischer Verbrauch** (Fraunhofer ISI)

Bereits in Kapitel 3.7 ist auf die Emissionsrelevanz des nichtenergetischen Verbrauchs und auf den Bereich der Speicher- Transport- und Verteilungsverluste eingegangen worden. In beiden Bereichen sind durch zusätzliche Investitionen und organisatorische Maßnahmen weitere Minderungen von Treibhausgasen möglich. Da jedoch die Spielräume bei den Speicher-Transport- und Verteilungsverlusten - gemessen an den langfristigen Möglichkeiten der Verminderung des nicht-energetischen Verbrauchs - sehr klein sind, beschränken sich die folgenden Überlegungen auf den nicht-energetischen Verbrauch..

Dabei sind die Möglichkeiten der Verminderung des nicht-energetischen Verbrauchs durch verbesserte Werkstoffnutzung und stoffliche Wiederverwendung durch eine entsprechende Rücknahme der Kunststoffproduktion bereits im Kapitel 5.6 berücksichtigt worden (mit dem Ergebnis eines um etwa 215 PJ verminderten Energiebedarfs). Deshalb wäre für ein Nachhaltigkeits-Szenario zu prüfen, welche Substitutionen von petrochemischen Grundstoffen zu Biomasse basierten Kunststoffen zusätzlich noch möglich wären. Derzeit liegt das weltweite Produktionsvolumen der kommerzialisierten, biotechnologisch hergestellten Biopolymere bei etwa 200.000t/a. (Hüsing u.a. 2003). Es wird hier von folgenden zusätzlichen Möglichkeiten ausgegangen:

- Bei Massenkunststoffen gibt es einen Teilbereich, der sich in den nächsten Jahrzehnten durch biogen-basierte Grundstoffe auszeichnet; dieser dürfte insbesondere im Bereich der Verpackungsmaterialien zu finden sein. Diese Optionen dürften aber erst in den Jahrzehnten 2020 bis 2050 von energetischer Bedeutung sein, weil die günstigeren Erdöl- und Erdgaspreise bis dahin eine Substitution mit größeren Marktanteilen unwahrscheinlich erscheinen lassen.

- Bei Kunststoffanwendungen des Referenzentwicklungen werden teilweise Re-Substitutionen durch Holzwerkstoffe (z.B. im Bereich Möbel, Bodenbeläge) und durch natürliche Fasen (z.B. in Textilbereich) möglich. Diese Option könnte in den kommenden zwei Jahrzehnten in den entsprechenden Anwendungen von Bedeutung sein.

Der größte Beitrag zur CO_2-Reduktion des nicht-energetischen Verbrauchs kommt über die erhöhte Materialeffizienz und die höheren Recyclingquoten zu Stande: Statt etwa 1300 PJ in 2030 könnte der Bedarf auch um 215 PJ oder 16,5% (d.h. 0,6%/a) niedriger ausfallen. Die Substitution durch biogen produzierte Rohstoffe bringt bis 2030 zusätzlich allenfalls weitere 35 PJ (oder 2,7%); dieser Einfluss könnte aber bis 2050 deutlich größer werden.

Für die *CO_2-Emissionen* bedeutet dies statt einer Stagnation bei 60 Mio. t CO_2 ein Rückgang um 10 Mio. t CO_2 (oder 20%) bis 2030 sowie weitere 1,5 Mio. t durch die intensivere Nutzung biogener Rohstoffe. Dieses Ergebnis könnte beim Ausblick auf 2050 fortgeschritten werden, da viele davon ausgehen, dass nach 2030 bei höheren Erdöl- und Erdgaspreisen die bio- und außertechnologisch erzeugten Grund- und Zwischenstoffe der organischen Chemie soweit entwickelt sein werden, dass weitere erhebliche Substitutionen petrochemisch basierter Werkstoffe möglich sein dürfte (OECD 1998, Ohmann 2000, Ulgiati, 2001).

Tabelle 5.7-1 Energiebedarf und veränderte CO_2-Emissionen von Referenz und Nachhaltigkeits-Szenario, 2000-2030

		Referenz-Szenario			Nachhaltigkeits-Szenario		
	2000	2010	2020	2030	2010	2020	2030
Nicht-energetischer Verbrauch in PJ [1)]	1096	1200	1250	1300			
– mit Materialeffizienz und -recycling [2)]					1170	1140	1085
– mit Biopolymeren-Substitution [2)]					1165	1120	1050
CO_2-Emissionen [1)]	57	60	60	60			
– mit Materialeffizienz und -recycling [2)]					58,5	54,7	50,0
– mit Biopolymeren-Substitution [2)]					58,3	53,8	48,5

[1)] produktionsbedingt
[2)] ohne Berücksichtigung des Mehraufwands bei Außer- und Fortwirtschaft

Literatur zu Kapitel 5.7.1

OECD (1998): Biotechnologie für umweltvertragliche industrielle Produkte und Verfahren. Wege zur Nachhaltigkeit in der Industrie. Paris

Ohmann, J. (2000): Kunststoffe aus natürlichen Pflanzenzucker werden weltweit Realität. www.cdpoly.com

Ulgiati, S. (2001): A Comprehensive Energy and Economic assessment of biogiels: When ‚green‘ is not enough. In: Critical Reviews in Plant Sciences, Vol 20, p. 71-106

5.8 **Energiesektor** (DIW Berlin)

5.8.1 Die Emissionen im gesamten Umwandlungssektor

Nach den in Kapitel 4 vorgestellten Modellrechnungen werden sich die CO_2-Emissionen im Umwandlungssektor in den einzelnen Szenarien wie in Tabelle 5.8-1 ausgewiesen entwickeln. Danach dürften sich die Emissionen in diesem Segment in sämtlichen Szenarien künftig mehr oder weniger deutlich vermindern. Dies trifft insbesondere für die beiden Reduktionsszenarien zu, in denen der Umwandlungsbereich den bei weitem größten Beitrag zur Erreichung der vorgegebenen Emissionsziele leistet.

Tabelle 5.8-1 CO_2-Emissionen im Umwandlungssektor im Modell-Basis-Szenario im Referenz-Szenario sowie in den Reduktionsszenarien I und II

Szenarien	1990	2000	2010	2020	2030
	CO_2-Emissionen in Mio. t				
	Gliederung gemäß UBA-Bilanzierung[1)]				
Modell-Basis-Szenario			290	313	308
Reduktions-Szenario I	400	342	263	218	153
Reduktions-Szenario II			235	164	120
	Gliederung gemäß Systematik der AG Energiebilanzen				
Modell-Basis-Szenario			312	337	331
Referenz-Szenario	443	365	338	356	367
Reduktions-Szenario I			284	238	174
Reduktions-Szenario II			256	180	131
	Veränderungen gegenüber 1990 in %				
	Gliederung gemäß UBA-Bilanzierung[1)]				
Modell-Basis-Szenario			-27,5	-21,8	-23,0
Reduktions-Szenario I		-14,5	-34,3	-45,5	-61,8
Reduktions-Szenario II			-41,3	-59,0	-70,0
	Gliederung gemäß Systematik der AG Energiebilanzen				
Modell-Basis-Szenario			-29,6	-23,9	-25,3
Referenz-Szenario		-17,6	-23,7	-19,6	-17,2
Reduktions-Szenario I			-35,9	-46,3	-60,7
Reduktions-Szenario II			-42,2	-59,4	-70,4

[1)] Ohne übriger Umwandlungsbereich.

Bezogen auf den gesamten Zeitraum von 1990 bis 2030 entfallen vom gesamten Rückgang der CO_2-Emissionen in Höhe von (Tabelle 5.8-2):

- 255 Mio. t im *Reduktions-Szenario I* allein 191 Mio. t, also rund drei Viertel, auf den Umwandlungssektor. Es folgt der Bereich Haushalte, GHD mit 45 Mio. t oder 18 %.
- 356 Mio. t im *Reduktions-Szenario II* bereits 234 Mio. t oder rund zwei Drittel auf die Umwandlung. Der Bereich Haushalte, GHD trägt mit 88 Mio. t oder mit einem Viertel zur Gesamtreduktion bei.

In beiden Reduktionsszenarien bleibt der Beitrag der Industrie begrenzt, und derjenige des Verkehrs spielt praktisch keine Rolle. Innerhalb des Umwandlungssektors sind die Emissionen aus der Stromerzeugung von herausragender Bedeutung, so dass sich die folgenden Überlegungen – wie schon im Kapitel 3.8 – auf die Elektrizitätswirtschaft konzentrieren werden.

Auch die seit 1998 von der Bundesregierung umgesetzten klimaschutzpolitischen Maßnahmen für den Energiesektor betreffen fast ausschließlich die Elektrizitätswirtschaft. Nach den weiter oben dargelegten Schätzungen haben sie im Energiesektor insgesamt eine Minderung der CO_2-Emissionen in einer Größenordnung von fast 18 Mio. t bewirkt; ohne Berücksichtigung der geschätzten Mehremissionen aufgrund des – allerdings nicht klimaschutzpolitisch motivierten - vorfristigen Ausstiegs aus der Kernenergie beträgt die Minderung rund 32 Mio. t CO_2. Der bei Weitem größte Teil davon (87 %) entfällt auf die Wirkung der Maßnahmen zugunsten der zur Stromerzeugung eingesetzten erneuerbaren Energien, der Rest auf die Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung.

Tabelle 5.8-2 Veränderungen der CO_2-Emissionen im Modell-Basis-Szenario, im Referenz-Szenario sowie in den Reduktionsszenarien I und II gegenüber 2000 in der Gliederung der deutschen Energiebilanzen"

	Modell-Basis-Szenario			Referenzszenario			Reduktions-Szenario I			Reduktions-Szenario II		
	2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030
	Veränderungen der CO_2-Emissionen gegenüber 2000 in Mio. t											
Industrie	-4	-10	-15	-6	-11	-18	-4	-10	-17	-6	-16	-25
GHD, Haushalte	-13	-22	-28	-15	-16	-24	-14	-29	-45	-26	-61	-88
Verkehr	18	12	-3	10	3	-8	18	12	-3	18	6	-9
Umwandlung	**-53**	**-28**	**-34**	**-27**	**-9**	**2**	**-81**	**-127**	**-191**	**-109**	**-185**	**-234**
Summe	-51	-48	-79	-38	-33	-47	-80	-154	-255	-124	-256	-356
	Anteile an den Veränderungen der CO_2-Emissionen in %											
Industrie	8	21	19	16	33	38	5	6	7	5	6	7
GHD, Haushalte	25	46	35	39	48	51	18	19	18	21	24	25
Verkehr	-35	-25	4	-26	-9	17	-23	-8	1	-15	-2	3
Umwandlung	**104**	**58**	**43**	**71**	**27**	**-4**	**101**	**82**	**75**	**88**	**72**	**66**
Summe	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Anmerkung: Bezugswerte für 2000 temperaturbereinigt.												

5.8.2 Die Entwicklungen im Bereich der Elektrizitätswirtschaft

Drei wesentliche Faktoren beeinflussen die CO_2-Emissionen in der Elektrizitätswirtschaft:

1. Entwicklung des Stromverbrauchs als auslösendes Moment des Stromerzeugungsniveaus;
2. Verbesserungen der Stromerzeugungsnutzungsgrade;
3. Änderungen in der Struktur des Kraftwerksparks zu emissionsfreien oder emissionsärmeren Erzeugungssystemen.

Nach den Ergebnissen des Modell-Basis-Szenarios verändert sich der *Stromverbrauch* innerhalb der Projektionsperiode bis 2030 kaum, er bewegt sich in einer Größenordnung von 540 und 550 TWh/a (Tabelle 5.8-3).

Tabelle 5.8-3 Stromverbrauch im Modell-Basis-Szenario, im Referenz-Szenario sowie in den Reduktionsszenarien I und II

	Ist* 2000	2010	2020	2030	2010	2020	2030
	Mrd. kWh				Änderung gegenüber 2000 in %		
	Modell-Basis-Szenario						
Industrie	209	214	211	221	2,4	1,0	5,7
Gewerbe, Handel, Dienstl.	129	132	136	128	2,3	5,4	-0,8
Haushalt	133	144	132	116	8,3	-0,8	-12,8
Verkehr	16	18	18	18	12,5	12,5	12,5
Summe Endenergie	487	508	497	484	4,3	2,1	-0,6
Summe Umwandlung[1)]	59	38	53	59	...	...	...
Summe Verbrauch = Nettostromerzeugung	546	546	550	543	0,0	0,7	-0,5
	Referenzszenario						
Industrie	209	220	233	237	5,3	11,5	13,4
Gewerbe, Handel, Dienstl.	129	137	146	152	6,2	13,2	17,8
Haushalt	133	136	126	113	2,3	-5,3	-15,0
Verkehr	16	19	22	27	18,8	37,5	68,8
Summe Endenergie	487	512	527	529	5,1	8,2	8,6
Summe Umwandlung[1)]	59	45	43	39	...	...	...
Summe Verbrauch = Nettostromerzeugung	546	557	570	568	2,0	4,4	4,0
	Reduktionsszenario I						
Industrie	209	213	207	216	2,0	-1,1	3,3
Gewerbe, Handel, Dienstl.	129	132	136	128	2,6	5,6	-0,9
Haushalt	133	143	129	114	7,3	-2,9	-14,2
Verkehr	16	18	18	18	10,3	13,8	10,3
Summe Endenergie	487	506	490	476	3,9	0,7	-2,3
Summe Umwandlung[1)]	59	31	17	16	...	...	...
Summe Verbrauch = Nettostromerzeugung	546	537	507	492	-1,6	-7,1	-9,9
	Reduktionsszenario II						
Industrie	209	213	206	215	1,6	-1,3	2,9
Gewerbe, Handel, Dienstl.	129	132	136	133	2,6	5,6	3,0
Haushalt	133	138	118	105	3,6	-11,1	-20,7
Verkehr	16	18	18	18	12,1	13,8	10,3
Summe Endenergie	487	501	479	471	2,9	-1,7	-3,3
Summe Umwandlung[1)]	59	35	4	8	...	...	...
Summe Verbrauch = Nettostromerzeugung	546	536	483	479	-1,8	-11,5	-12,3

* temperaturbereinigt.

[1)] Ohne Kraftwerkseigenverbrauch; einschließlich Stromaußenhandelssaldo und statistische Differenzen.

Quellen: Enquete-Kommission 2002, Berechnungen FZJ-STE

Im Referenzszenario kommt es bis 2020 zu einer leichten Steigerung (4,4 % gegenüber 2000), dann aber zu einer Stagnation. Dagegen ist in den beiden Reduktionsszenarien aufgrund von Einsparmaßnahmen in den Endverbrauchssektoren und im Umwandlungsbereich selbst mit

einer rückläufigen Stromnachfrage zu rechnen: Im Reduktions-Szenario I wird der Verbrauch um rund 10 % und im Reduktions-Szenario II um gut 12 % niedriger sein als 2000.

Der hier skizzierten Entwicklung des Stromverbrauchs folgt in der Summe die *Nettostromerzeugung*, für die sich zwischen den einzelnen Szenarien allerdings erhebliche Unterschiede in der Struktur der eingesetzten Energieträger ergeben (Tabelle 5.8-4). Im Modell-Basis-Szenario wie im Referenzszenario (der Enquete-Kommission) nimmt der Anteil der Stromerzeugung auf Basis von Steinkohle und Braunkohle bis 2030 noch stark, derjenige von Erdgas dagegen kaum oder nur schwach zu. Kräftig erhöht sich auch der Anteil der Windenergie, und zwar auf 17 % (Modell-Basis-Szenario) bzw. gut 9 % (Referenz-Szenario) im Jahr 2030. Ein zunehmendes Gewicht wird in diesen beiden Szenarien mit Anteilen von reichlich 21 % bzw. knapp 18 % im Jahr 2030 auch die Kraft-Wärme-Kopplung erhalten.

Tabelle 5.8-4 Nettostromerzeugung im Modell-Basis-Szenario, im Referenz-Szenario sowie in den Reduktionsszenarien I und II

	Ist*	Modell-Basis-Szenario			Referenzszenario			Reduktions-Szenario I			Reduktions-Szenario II		
	2000	2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030
	Nettostromerzeugung in TWh												
Steinkohlen	135	127	168	185	132	183	221	110	80	25	64	25	14
Braunkohlen	138	133	155	157	146	174	181	115	81	44	115	59	31
Heizöl	4	5	0	0	4	1	0	5	0	0	1	0	0
Erdgas	59	58	58	60	69	60	66	83	176	263	131	210	235
Kernenergie	163	141	61	0	147	79	0	141	61	0	141	61	0
Wasserkraft**	26	20	22	22	23	25	25	19	19	19	19	25	26
Wind, PV	9	38	58	92	21	27	52	38	59	113	38	69	118
Sonstiges	12	25	28	27	15	20	23	26	31	29	27	34	56
Summe	546	546	550	543	557	570	568	537	507	492	536	483	479
dar.: KWK***	83	105	116	115	80	91	101	109	117	117	108	118	118
	Struktur der Nettostromerzeugung in %												
Steinkohlen	24,7	23,3	30,5	34,1	23,7	32,1	38,9	20,5	15,8	5,1	11,9	5,2	2,9
Braunkohlen	25,3	24,4	28,2	28,9	26,2	30,5	31,9	21,4	16,0	8,9	21,5	12,2	6,5
Heizöl	0,7	0,9	0,0	0,0	0,7	0,2	0,0	0,9	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0
Erdgas	10,8	10,6	10,5	11,0	12,4	10,5	11,6	15,5	34,7	53,5	24,4	43,5	49,1
Kernenergie	29,9	25,8	11,1	0,0	26,4	13,9	0,0	26,3	12,0	0,0	26,3	12,6	0,0
Wasserkraft**	4,8	3,7	4,0	4,1	4,1	4,4	4,4	3,5	3,7	3,9	3,5	5,2	5,4
Wind, PV	1,6	7,0	10,5	16,9	3,8	4,7	9,2	7,1	11,6	23,0	7,1	14,3	24,6
Sonstiges	2,2	4,6	5,1	5,0	2,7	3,5	4,0	4,8	6,1	5,9	5,0	7,0	11,7
Summe	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
dar.: KWK***	15,2	19,3	21,1	21,3	14,3	16,0	17,8	20,4	23,1	23,7	20,1	24,5	24,6

Anmerkung: * temperaturbereinigt.- ** Wasserkraft im Jahr 2000 nicht witterungsbereinigt.- ***) KWK 2000=Modellergebnis.
Quellen: BMWi 2002, Enquete-Kommission 2002, Berechnungen FZJ-STE

Völlig anders sehen die Erzeugungsstrukturen unter den Voraussetzungen und vorgegebenen Rahmenbedingungen der beiden Reduktionsszenarien aus: Um die exogen gesetzten Emissionsreduktionsziele zu erreichen, müssen insbesondere die Stromerzeugung auf der Basis von Stein- und Braunkohlen drastisch zurückgefahren und umgekehrt diejenige auf der Basis von Erdgas, aber auch von Windenergie kräftig hochgefahren werden. Im Reduktions-Szenario I

wie im Reduktions-Szenario II würde das Erdgas bis 2030 einen Stromerzeugungsanteil von fast 54 % bzw. rund 49 % übernehmen; der Anteil der Windenergie würde zugleich auf 23 % (Reduktions-Szenario I) bzw. 25 % (Reduktions-Szenario II) steigen. Stein- und Braunkohlen zusammen würden demgegenüber nur noch mit 14 % bzw. knapp 10 % an der Nettostromerzeugung beteiligt sein. Nach den Modellrechnungen würde sich übrigens der Anteil der KWK-Stromerzeugung in den beiden Reduktionsszenarien im Vergleich zum Modell-Basis-Szenario nur wenig erhöhen. Hinter den Veränderungen der Stromerzeugung steht die Entwicklung der *Kraftwerkskapazitäten* (Tabelle 5.8-5).

Tabelle 5.8-5 Nettoengpassleistung der Kraftwerke im Modell-Basis-Szenario, im Referenz-Szenario sowie in den Reduktionsszenarien I und II

	Ist*	Modell-Basis-Szenario			Referenzszenario			Reduktions-Szenario I			Reduktions-Szenario II		
	2000	2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030
	Netto-Engpassleistung in GW												
Steinkohlen	30	23	28	31	24	30	35	23	12	9	23	12	9
Braunkohlen	20	19	23	22	21	24	24	16	13	12	16	13	12
Heizöl	7	5	1	1	3	3	0	5	1	1	5	1	1
Erdgas	21	21	26	28	23	20	21	21	38	46	26	34	43
Kernenergie	22	18	8	0	20	11	0	18	8	0	18	8	0
Wasserkraft	9	8	8	8	10	10	10	8	8	8	8	9	9
Wind, PV	6	19	25	35	13	15	24	19	25	41	19	28	44
Sonstiges	4	3	3	3	3	5	5	3	3	3	3	5	9
Summe	120	116	121	128	118	117	120	114	108	120	118	109	126
dar.: KWK	kA	18,1	17,3	17,4	27,3	28,2	31,0	18,2	16,0	17,3	18,1	16,6	20,2
	Struktur der Netto-Engpassleistung in %												
Steinkohlen	25,0	19,8	23,1	24,2	20,3	25,6	29,2	20,2	11,1	7,5	19,5	11,0	7,1
Braunkohlen	16,7	16,4	19,0	17,2	17,8	20,5	20,0	14,0	12,0	10,0	13,6	11,9	9,5
Heizöl	5,8	4,3	0,8	0,8	2,5	2,6	0,0	4,4	0,9	0,8	4,2	0,9	0,8
Erdgas	17,5	18,1	21,5	21,9	19,5	17,1	17,5	18,4	35,2	38,3	22,0	31,2	34,1
Kernenergie	18,3	15,5	6,6	0,0	16,9	9,4	0,0	15,8	7,4	0,0	15,3	7,3	0,0
Wasserkraft	7,5	6,9	6,6	6,3	8,5	8,5	8,3	7,0	7,4	6,7	6,8	8,3	7,1
Wind, PV	5,0	16,4	20,7	27,3	11,0	12,8	20,0	16,7	23,1	34,2	16,1	25,7	34,9
Sonstiges	3,3	2,6	2,5	2,3	2,5	4,3	4,2	2,6	2,8	2,5	2,5	4,6	7,1
Summe	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
dar.: KWK	kA	15,6	14,3	13,6	23,2	24,1	25,8	16,0	14,8	14,4	15,3	15,2	16,1

Quellen: BMWi 2002, Enquete-Kommission 2002, Berechnungen FZJ-STE

Während das Niveau der installierten Engpassleistung in allen Szenarien vergleichsweise nahe beieinander liegt, unterscheidet sich die Struktur des Kraftwerksparks ähnlich stark wie diejenige der Nettostromerzeugung. Während Stein- und Braunkohlenkraftwerke im Modell-Basis-Szenario wie im Referenz-Szenario eine starke Stellung aufweisen, nimmt ihre Bedeutung in den beiden Reduktionsszenarien vor allem zugunsten von Erdgaskraftwerken und Windkraftwerken erheblich ab. Die installierte Leistung von KWK-Anlagen Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen bewegt sich zwar auch in den Reduktionsszenarien „nur“ etwa auf einem Niveau wie im Modell-Basis-Szenario, doch kommt es hier innerhalb des KWK-Bereichs zu einer Verschiebung von kohlebasierten KWK-Anlagen zu erdgasbefeuerten GuD-

Kraftwerken. Die Strukturen des Kraftwerksparks und der Nettostromerzeugung determinieren zusammen mit den kraftwerksspezifischen Stromerzeugungsnutzungsgraden den Brennstoffeinsatz zur Stromerzeugung. Hier wiederholt sich das Bild der energieträgerstrukturellen Unterschiede zwischen den Szenarien (Tabelle 5.8-6).

Tabelle 5.8-6 Brennstoffeinsatz zur Stromerzeugung im Modell-Basis-Szenario, im Referenz-Szenario sowie in den Reduktionsszenarien I und II

	histor. Daten	Modell-ergeb-nisse	Modell-Basis-Szenario			Referenzszenario			Reduktionsszenario I			Reduktionsszenario II		
	2000		2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030
	Brennstoffeinsatz in PJ													
Steinkohle	1268	1234	1149	1406	1467	1130	1414	1632	1026	667	203	642	206	108
Braunkohle	1424	1415	1289	1320	1261	1321	1372	1347	1073	691	334	1073	475	240
Öl	37	17	42	0	0	36	12	0	44	0	0	13	0	0
Erdgas	458	566	602	601	612	479	381	406	794	1392	1919	1112	1609	1672
Kernenergie	1851	1797	1617	693	0	1691	912	0	1617	693	0	1617	693	0
Wind	33	33	137	208	330	74	96	183	137	211	405	137	240	423
Sonne	0	0	0	0	0	1	3	5	0	0	0	0	0	0
Wasser	94	85	75	82	81	84	89	91	68	68	68	68	90	93
Sonstige	96	51	171	207	205	160	170	190	171	213	212	173	270	791
insgesamt	5261	5198	5083	4517	3958	4976	4449	3854	4931	3935	3141	4836	3583	3327
dar. KWK		743	1092	1178	1110	1027	1016	1035	1031	1092	1093	1015	1112	1326
	Struktur des Brennstoffeinsatzes in %													
Steinkohle	24,1	23,7	22,6	31,1	37,1	22,7	31,8	42,3	20,8	17,0	6,5	13,3	5,7	3,3
Braunkohle	27,1	27,2	25,4	29,2	31,9	26,5	30,8	35,0	21,8	17,6	10,6	22,2	13,2	7,2
Öl	0,7	0,3	0,8	0,0	0,0	0,7	0,3	0,0	0,9	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0
Erdgas	8,7	10,9	11,9	13,3	15,5	9,6	8,6	10,5	16,1	35,4	61,1	23,0	44,9	50,3
Kernenergie	35,2	34,6	31,8	15,3	0,0	34,0	20,5	0,0	32,8	17,6	0,0	33,4	19,3	0,0
Wind	0,6	0,6	2,7	4,6	8,4	1,5	2,2	4,7	2,8	5,4	12,9	2,8	6,7	12,7
Sonne	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Wasser	1,8	1,6	1,5	1,8	2,1	1,7	2,0	2,4	1,4	1,7	2,2	1,4	2,5	2,8
Sonstige	1,8	1,0	3,4	4,6	5,2	3,2	3,8	4,9	3,5	5,4	6,8	3,6	7,5	23,8
insgesamt	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
dar. KWK	0,0	14,3	21,5	26,1	28,0	20,6	22,8	26,9	20,9	27,7	34,8	21,0	31,0	39,9
Nachrichtlich: Mittlerer Strom-erzeugungs-nutzungsgrad	37,4	37,0	39,0	44,3	50,2	40,3	46,1	53,1	39,9	46,9	57,2	40,9	49,2	54,2

Quellen: BMWi 2001, Enquete-Kommission 2002, Berechnungen FZJ-STE

Deutlich zu erkennen ist, dass es in allen Szenarien im Unterschied zur Nettostromerzeugung zu einer – insbesondere in den Reduktionsszenarien – kräftigen Verminderung des Energieeinsatzes kommt. Dies ist in erster Linie eine Folge der erheblichen Verbesserung der Stromerzeugungsnutzungsgrade bis auf ca. 57 % im Jahr 2030 im Reduktions-Szenario I und auf ca. 54 % im Reduktions-Szenario II.[147]

[147] Allerdings schlägt sich darin auch die konventionelle Festlegung nieder, wonach die zur Stromerzeugung eingesetzten erneuerbaren Energiequellen Wasser, Wind und Solar mit einem impliziten Wirkungsgrad von 100 % energetisch bewertet werden.

Aus dem Niveau und der Struktur der eingesetzten Energieträger folgen die in Tabelle 5.8-7 ausgewiesenen CO_2-Emissionen aus der Stromerzeugung. Einschließlich der Emissionen für die Wärmeerzeugung in Industriekraftwerken und Heizwerken gehen die CO_2-Emissionen im Modell-Basis-Szenario gegenüber den Modellwerten für 2000 innerhalb des Projektionszeitraumes nur wenig zurück. Dagegen kommt es in beiden Reduktionsszenarien zu einer drastischen Verminderung: Im Reduktions-Szenario I liegen die CO_2-Emissionen im Jahr 2030 um rund 150 Mio. t oder um 46 % und im Reduktions-Szenario II sogar um ca. 193 Mio.t oder um rund 60% unter dem Ausgangswert für 2000.

Tabelle 5.8-7 CO_2-Emissionen in der Strom- und Fernwärmewirtschaft im Modell-Basis-Szenario, im Referenz-Szenario sowie in den Reduktionsszenarien I und II

	Modell-ergeb-nisse	Modell-Basis-Szenario			Reduktionsszenario I			Reduktionsszenario II		
	2000	2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030
	CO_2-Emissionen in der Strom - und Fernwärmeerzeugung in Mio. t									
Öffentliche Versorgung										
Steinkohle	104,2	83,3	100,8	105,2	75,3	51,6	12,3	40,1	13,7	7,9
Braunkohle	150,3	133,9	139,2	141,1	119,7	77,4	38,7	119,7	53,1	26,9
Öl	1,3	3,3	0,0	0,0	3,5	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
Erdgas	4,0	0,0	0,0	0,0	5,3	32,6	62,4	17,8	39,0	55,4
Sonstige	0,0	2,9	1,5	0,1	2,9	2,1	0,0	2,9	1,7	0,0
KWK-Strom Erdgas	11,5	5,2	6,5	7,1	7,9	12,4	12,7	11,1	14,9	6,8
KWK-Strom Kohle	14,8	36,3	41,5	34,3	23,0	13,7	9,0	14,8	5,4	2,2
KWK-Strom Biogas, Rapsöl	0,3	1,2	2,3	0,3	1,2	2,3	0,0	1,2	0,2	0,0
Summe	286,4	266,0	291,6	288,1	238,6	192,1	135,2	209,5	127,9	99,2
Industriekraftwerke	22,5	30,6	29,3	27,5	33,3	34,0	33,3	31,4	31,6	29,0
Insgesamt	308,9	296,6	321,0	315,6	268,0	226,1	168,5	240,9	159,5	128,2
Heizwerke	12,2	7,3	7,0	7,8	7,1	5,3	4,4	6,6	3,0	0,4
Summe	321,2	303,9	327,9	323,3	279,0	231,4	172,9	247,5	162,6	128,4
	Struktur der CO_2-Emissionen in der Strom - und Fernwärmeerzeugung in %									
Öffentliche Versorgung										
Steinkohle	32,4	27,6	30,7	32,5	27,0	22,3	7,1	16,5	8,4	6,1
Braunkohle	46,8	44,1	42,4	43,7	42,9	33,4	22,4	48,4	32,7	20,9
Öl	0,4	1,1	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0
Erdgas	1,3	0,0	0,0	0,0	1,9	14,1	36,1	7,2	24,0	43,1
Sonstige	0,0	1,0	0,4	0,0	1,0	0,9	0,0	1,2	1,0	0,0
KWK-Strom Erdgas	3,6	1,7	2,0	2,2	2,8	5,4	7,3	4,5	9,1	5,3
KWK-Strom Kohle	4,6	11,9	12,7	10,6	8,2	5,9	5,2	6,0	3,3	1,7
KWK-Strom Biogas, Rapsöl	0,1	0,4	0,7	0,1	0,4	1,0	0,0	0,5	0,1	0,0
Summe	89,2	87,5	88,9	89,1	85,5	83,0	78,2	84,6	78,7	77,2
Industriekraftwerke	7,0	10,1	8,9	8,5	11,9	14,7	19,2	12,7	19,4	22,5
Insgesamt	96,2	97,6	97,9	97,6	97,5	97,7	97,5	97,3	98,1	99,7
Heizwerke	3,8	2,4	2,1	2,4	2,5	2,3	2,5	2,7	1,9	0,3
Summe	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Anmerkungen: Industriekraftwerke ohne Aufteilung nach Wärme -/Stromproduktion

Auch diese Ergebnisse lassen noch einmal erkennen, dass nach den Optimierungsrechnungen gerade seitens der Elektrizitätswirtschaft der entscheidende Beitrag zur Verwirklichung der vorgegebenen Emissionsreduktion geleistet wird.

5.8.3 Maßnahmen im Bereich der Elektrizitätswirtschaft

Weiter oben sind in Tabelle 4.4-2 (Kapitel 4) die wichtigsten Maßnahmenfelder zusammengestellt worden, die als technische Lösungen zur Verwirklichung der Emissionsvorgaben für die Reduktionsszenarien in den unterschiedlichen Sektoren verstanden werden können.

Für das Reduktions-Szenario I waren dies die folgenden Maßnahmen:

- Rückgang der Stromproduktion um ca. 10% durch Einsparung in den Endverbrauchssektoren (z.B. weniger Elektroheizungen etc.)
- Rückgang der Braunkohle- (-75%) und der Steinkohleverstromung (-90%)
- Substitution von Kohlestrom durch Strom aus erdgasbefeuerten GuD-Kraftwerken
- Mehr Fernwärme und KWK-Strom aus erdgasbefeuerten GuD-Kraftwerken, Substitution von kohlebasiertem KWK-Strom
- Ausbau der Windenergie (On-Shore und Off-Shore)
- Ausbau der Nahwärmeversorgung auf Basis von Erdgas und Biogas

Im Grundsatz ähnlich, in der Intensität aber stärker sind die folgenden Maßnahmen, die im Reduktions-Szenario II „in Lösung“ gegangen sind:

- Rückgang der Stromproduktion um ca. 12% durch Einsparung in den Endverbrauchssektoren (z.B. weniger Elektroheizungen etc.)
- Weiterer Rückgang der Kohleverstromung über die Einsparung des Reduktions-Szenarios I hinaus (bereits schon ab 2010)
- Substitution von Kohlestrom durch Strom aus erdgasbefeuerten GuD-Kraftwerken, allerdings geringer als in Szenario I
- Starker Ausbau von Biomasse- und Biogas KWK-Anlagen, die fossil befeuerte KWK-Anlagen ersetzen
- Ausbau der Fern- und Nahwärmeversorgung, deutlicher Anstieg der Nah- und Fernwärmeproduktion
- Ausbau der Windenergie und der Wasserkraft bis zur Ausschöpfung der Potenziale
- Weiterer Ausbau der Nahwärmeversorgung auf Basis von Erd- und insbesondere Biogas

Insofern mit den hier skizzierten Reduktionsszenarien kein quasi marktendogener Weg zu der vorgegebenen Emissionsminderung beschrieben wird, bedarf es zu deren Umsetzung zusätzlicher energie- und umweltpolitischer Maßnahmen.

Die zuvor genannten Maßnahmenfelder lassen sich zu vier großen Komplexen verdichten:

1. Maßnahmen zur Förderung der Stromeinsparung und rationellen Stromverwendung;
2. Maßnahmen zur Förderung des Substitutionsprozesses innerhalb des Kraftwerksparks;
3. Maßnahmen zum Ausbau der KWK-gestützten Nah- und Fernwärmeversorgung;
4. Maßnahmen zur Förderung des Einsatzes erneuerbare Energiequellen im Umwandlungssektor.

Soweit als wesentliche Elemente für die Reduktionsszenarien der *Bereich der erneuerbaren Energiequellen* abgesprochen wird, sei mit Blick auf die entsprechenden Fördermaßnahmen auf die Überlegungen in Kapitel 5.10 verwiesen.

Zum Komplex *„Stromeinsparung/rationelle Stromverwendung“* gibt es eine Vielzahl von Maßnahmenvorschlägen, die vor allem auf eine beschleunigte Marktdiffusion effizienterer Elektrogeräte, auf Vermeidung des Stand-by-Verbrauchs, auf effizientere Leuchtmittel, auf den Einsatz stromsparender Energiemanagementsysteme, auf Steuer- und Regelungstechniken auch im Bereich von Handel, Gewerbe und Industrie, auf effizientere Elektromotoren und Elektropumpen abzielen. Hinzu kommt die Empfehlung, unter Energieeffizienzgesichtspunkten auch auf den Einsatz von elektrischen Widerstandsheizungen zur Deckung des Raumwärmebedarfs zu verzichten (vgl. auch Enquete-Kommission 2002).

Als Instrumente zur Nutzung der Effizienzpotenziale werden vorgeschlagen (siehe dazu auch die entsprechenden Vorschläge in den vorstehenden Sektorkapiteln):

- Einrichtung eines Energieeffizienzfonds,
- Bundes- und Länderprogramme „Rationelle und wirtschaftliche Verwendung von Elektrizität“
- Durchführung von Energie-/Strom-Audits
- Beendigung der steuerlichen Begünstigungen von Nachtstromspeicherheizungen;
- Ausweitung von Labelling und Standards bei Stromanwendungen
- Begleitende Energieeffizienzkampagnen

Investitionsentscheidungen über die Struktur und damit über *Substitutionsprozesse innerhalb des Kraftwerksparks* werden von den Unternehmen nahezu ausschließlich unter Beachtung wirtschaftlicher Kriterien getroffen. Dabei spielen vor allem die Höhe der Investitionskosten sowie die Energiepreisrelationen eine herausragende Rolle. Beide sind nicht unabhängig von

den politisch gesetzten Rahmenbedingungen. So werden die Investitionskosten nicht zuletzt von geforderten Umweltschutzmaßnahmen (beispielsweise als Folge von Emissionsgrenzwerten) beeinflusst, und die Energiepreisrelationen können von steuerlichen Maßnahmen tangiert werden. Natürlich wirken auch besondere Fördermaßnahmen (etwa jene zugunsten des Einsatzes von erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung) unmittelbar auf die Entscheidungsprozesse ein.

Abgesehen von der Förderung erneuerbarer Energien und von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (auch der damit zusammenhängenden Selbstverpflichtungserklärungen) war die Elektrizitätswirtschaft in der Vergangenheit nur wenig von direkten klimaschutzpolitisch motivierten Maßnahmen betroffen.

Die in den Reduktionsszenarien „in Lösung gegangene“ Substitution der Stein- und Braunkohlenverstromung durch den verstärkten Einsatz von Erdgas zur Stromerzeugung wird von der Bundesregierung noch durch keine konkreten Maßnahmen gefördert. Es erweist sich gegenwärtig eher als kontraproduktiv, dass Erdgas auch für die Stromerzeugung sogar mit einer Steuer belegt ist. Allerdings gibt es eine inzwischen auch von der EU-Kommission genehmigte, auf 5 Jahre befristete Gassteuerbefreiung für hocheffiziente GuD-Anlagen, sofern diese bis spätestens 11. März 2006 ans Netz gehen. Nach den vorliegenden Reduktionsszenarien würde der Substitutionsprozess zugunsten von Erdgas-GuD-Anlagen in größerem Umfang erst in der zweiten Dekade dieses Jahrhunderts einsetzen. Daher käme dafür die jetzige Steuerbefreiungsreglung nicht mehr in Betracht. Aus klimaschutzpolitischer Sicht wäre im Übrigen ein genereller Verzicht der Erhebung einer Erdgassteuer zu empfehlen. Ob dem unüberwindbare europarechtliche Bedenken entgegenstehen, ist hier nicht zu klären.

Abzuwarten bleibt, welchen Einfluss die bevorstehende Einführung des Emissionshandels auf die späteren Investitionsentscheidungen für den Kraftwerkspark hat. Tendenziell wird der Emissionshandel emissionsfreie oder emissionsärmere Stromerzeugungstechniken (wie Erdgas-GuD-Anlagen) begünstigen. Letztlich hängt die Entscheidung neben den jeweiligen Investitionskosten wesentlich von den maßgeblichen Energiepreisrelationen einerseits und der Höhe der Zertifikatspreis andererseits ab. Angesichts der im Vergleich zur Kohle zur Zeit wesentlich höheren Erdgaspreise würden Erdgaskraftwerke erst bei hohen Zertifikatspreisen gegenüber der Kohle wettbewerbsfähig werden. Die Höhe der Zertifikatspreise selbst wird aber nicht zuletzt von den vorgegebenen Emissionszielen und den für die Elektrizitätswirtschaft geltenden „caps“ beeinflusst.

Unter der Voraussetzung, dass das Emissionshandelssystem über die erste Kyoto-Verpflichtungsperiode 2008/2012 hinaus fortgeführt wird und die maximal zulässigen Emissionsbudgets im Jahr 2030 um 40 % (Reduktions-Szenario I) oder um 50 % (Reduktions-Szenario II) niedriger sein müssen als die CO_2-Emissionsniveau im Jahr 1990, ist damit zu rechnen, dass dadurch in erheblichem Maße Substitutionsprozesse zugunsten von Erdgaskraftwerken stimuliert werden. Der Setzung ambitionierter Emissionsreduktionsziele sowie dem Fortführen des Emissionshandelssystems kommt deshalb bei diesem Prozess eine wesentliche Bedeutung zu.

Zur klimaschutzpolitisch erwünschten Umstrukturierung des Kraftwerksparks können auch die breite Einführung dezentraler Brennstoffzellenanlagen und die Etablierung weiträumig vernetzter Systeme beitragen. Ziel derartiger Systeme wäre es, durch die koordinierte Steuerung vieler dezentraler kleiner Erzeugungseinheiten (BHKW, Windkraftanlagen, PV-Anlagen, Brennstoffzellen) und von Strom-Abnehmern diese Stromquellen über intelligente Vernetzung zu integrieren und damit ein verteiltes Großkraftwerke (ein „virtuelles Kraftwerk“) zu betreiben (vgl. Enquete-Kommission 2002, Kap. 4.3.7.2).

Schließlich wird zu prüfen sein, ob unter akzeptablen wirtschaftlichen und ökologischen Bedingungen großtechnische Möglichkeiten bestehen, Kohlendioxid abzutrennen (aus den Brennstoffen oder aus der Verbrennungsluft) und das so gewonnene Kohlendioxid auch sicher deponieren. Nur wenn dies gelingt, kann die Kohle unter klimaschutzpolitischen Aspekten ihre Bedeutung für die Stromerzeugung erhalten. Es wird empfohlen, die FuE-Aktivitäten zur Frage der CO_2-Abtrennung und –Deponierung voranzutreiben und Demonstrationsvorhaben zu initiieren.

Im Zusammenhang mit den zuvor angesprochenen Substitutionen ist auch der in den Reduktionsszenarien vorgesehene verstärkte *Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung* zu sehen. Bisher wird die Kraft-Wärme-Kopplung vornehmlich über das KWK-Gesetz gefördert. Wie weiter oben ausgeführt worden ist, wird das mit diesem Gesetz verfolgte Ziel für das Jahr 2010 mit hoher Sicherheit weit verfehlt. Nach diesem Gesetz ist gemäß § 12 für Ende 2004 eine Zwischenüberprüfung über die Erreichung der für 2005 und 2010 genannten Ziele. Für den Fall einer festgestellten Zielverfehlung sind dann von der Bundesregierung geeignete Maßnahmen zur Zielerreichung vorzuschlagen. Hierfür kommen im Grundsatz zwei Kategorien von Maßnahmen in Betracht (zur Förderung der industriellen KWK siehe auch Kap. 5.2.2.3):

1. Novellierung des bestehenden KWK-Gesetzes mit Erstreckung auf sämtliche KWK-Anlagen unabhängig vom Betreiber sowie auch auf zusätzliche Anlagen (*Ausbau* der KWK), mit deutlich längeren Förderzeiträumen und (in Abhängigkeit von den Energiepreisrelationen) ggf. höheren Zuschlägen.

2. Rückgriff auf die im Vorfeld zum jetzigen KWK-Gesetz entwickelten Vorschläge zur Einführung einer Quotenregelung für KWK-Strom.

Welcher dieser Maßnahmen der Vorzug zu geben ist, wird spätestens im Jahr 2005 nach Vorliegen der Ergebnisse des Monitoring zu befinden sein.

Eine wichtige Rahmenbedingung für die künftige Entwicklung der KWK im Bereich der öffentlichen Fernwärmeversorgung wird schließlich die konkrete Ausgestaltung des EU-Emissionshandelssystems (Nationaler Allokationsplan) für Deutschland bilden. Da die Wärme aus öffentlichen KWK-Anlagen im Regelfall mit Wärmeerzeugungsanlagen konkurrieren wird, die dem Emissionshandelssystem nicht unterliegen, können hier Verzerrungen entstehen, die durch geeignete Maßnahmen innerhalb oder außerhalb des Emissionshandelssystems kompensiert werden sollten. Neben verschiedenen Ausgestaltungsoptionen des Emissionshandelssystems (zusätzliche Zertifikate etc.) sind hier auch Veränderungen im Bereich der Ökosteuer denkbar (Erhöhung der Mineralölsteuer- und Erdgassteuersätze für Heizzwecke).

Im Übrigen ist zu erwarten, dass sich längerfristig die wirtschaftlichen Voraussetzungen für KWK-Anlagen im Zuge des dann auch unabhängig von den klimaschutzpolitischen Zielen anstehenden Ersatzinvestitionsbedarfes im Kraftwerkspark vermutlich deutlich verbessern werden. Während neue KWK-Anlagen bei den gegenwärtigen und wohl noch in der ersten Dekade bleibenden Überkapazitäten mit ihren Vollkosten im Vergleich zu den Grenzkosten für die existierenden Kraftwerke nicht konkurrenzfähig sind, stellt sich die Situation bei einem Vollkostenvergleich vielfach erheblich günstiger dar. Insoweit bleibt die KWK längerfristig eine auch unter wirtschaftlichen Aspekten vorteilhafte Lösung, die es mit entsprechenden Rahmenbedingungen zu flankieren gilt.

Durch eine Kombination und Bündelung der vorgenannten Maßnahmen sollte es möglich sein, die in den beiden Reduktionsszenarien dargestellten technischen Lösungen auch umsetzen zu können.

Literatur zu Kapitel 5.8

DIW u.a. (2001): Energiewirtschaftliche Voraussetzungen und energiepolitische Handlungsmöglichkeiten für eine zukünftige Energieentwicklung in Deutschland. Wissenschaftliche Begleitung des Energiedialogs 2000. DIW Berlin in Kooperation mit EWI, Fh-ISI, Öko-Institut, Prognos, WI. Berlin, Februar 2001.

Enquete-Kommission (2002): Bericht der Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“ des 14. Deutschen Bundestages. Bundestagsdrucksache 14/9400 vom 7.7.2002.

Horn, M., Praetorius, B., Ziesing, H.-J. (2001): Entwicklung eines Quotenmodells zur Förderung des Ausbaus ökologisch effizienter Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) im liberalisierten Strommarkt mit Anlagen- und Zielmengenzertifizierung und Handelbarkeit. Sachverständigengutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, Berlin, 2001.

IER, WI, Prognos (2002): Szenarienerstellung. Bericht für die Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“ des 14. Deutschen Bundestages. Berlin, Juni 2002.

Matthes, F.-Chr. und Ziesing, H.-J. (2000): Zur ökologischen und ökonomischen Bewertung der Kraft-Wärme-Kopplung. Kurzexpertise im Rahmen des Forschungsvorhabens "Energiewirtschaftliche Voraussetzungen und energiepolitische Handlungsmöglichkeiten für eine zukunftsfähige Energieentwicklung in Deutschland - Wissenschaftliche Begleitung des Energiedialogs" des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Berlin, 2000.

Praetorius, B., Ziesing, H.-J. (2001): Quotenmodell für Kraft-Wärme-Kopplung mit handelbaren Zertifikaten. In: Zeitschrift für Energiewirtschaft 25, 2, 107-123.

Starrmann, F. (2001): Entwicklung der Kraft-Wärme-Kopplung in liberalisierten Elektrizitätsmärkten, München: Oldenbourg Industrieverlag

Ziesing, H.-J. (2002): CHP Policy in Germany. In: Climate Technology and Energy Efficiency – Dissemination “Best Practice” Experience. Seminar Proceedings – Ostritz, 5-9 December 2001. Federal Environmental Agency (ed.), Climate Change 03/02, Berlin.

Ziesing, H.-J. (2000): Die Rolle der Kraft-Wärme-Kopplung in der zukünftigen Energieversorgung und ihr Beitrag zur Reduzierung der CO_2-Emissionen. Kurzexpertise im Rahmen des Forschungsvorhabens "Energiewirtschaftliche Voraussetzungen und energiepolitische Handlungsmöglichkeiten für eine zukunftsfähige Energieentwicklung in Deutschland - Wissenschaftliche Begleitung des Energiedialogs" des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Berlin, 2000.

Ziesing, H.-J. (2000): Zur energie- und klimaschutzpolitischen Bedeutung der Kraft-Wärme-Kopplung in Deutschland. Grundlagen für den Bericht des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie an das Bundeskabinett. Studie im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung des Energiedialogs 2000 im Auftrage des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Berlin, 2000.

Ziesing, H.-J. u.a. (1999): Szenarien und Maßnahmen zur Minderung von CO_2-Emissionen in Deutschland bis zum Jahr 2020. Politikszenarien für den Klimaschutz Band 5. Studie von DIW, FhG-ISI, Öko-Institut, Forschungszentrum Jülich im Auftrag des Umweltbundesamtes. Schriftenreihe des Forschungszentrums Jülich 1999.

Ziesing, H.-J. et al. (1997): Politikszenarien für den Klimaschutz. Untersuchungen im Auftrag des Umweltbundesamtes. Herausgegeben von G. Stein und B. Strobel. Band 1: Szenarien und Maßnahmen zur Minderung von CO_2–Emissionen in Deutschland bis zum Jahr 2005. Jülich: Forschungszentrum

5.9 Erneuerbare Energien (DIW Berlin)

5.9.1 Langfristszenarien zur Entwicklung erneuerbarer Energien

Das langfristige Referenzszenario der Enquete-Kommission zur Entwicklung erneuerbarer Energien in Deutschland ist in Kapitel 3 detailliert dargestellt. Im Lichte der bisherigen Politik ist dort bereits eine modifizierte Referenzentwicklung bis zum Jahr 2010 im Sinne eines Mit-Maßnahmen-Szenarios mit einer erhöhten Nutzung erneuerbarer Energien abgeleitet worden, wobei im Hinblick auf das Fortwirken der bisherigen Politik auch ein qualitativer Ausblick auf das Jahr 2020 gegeben wurde.

In diesem Untersuchungsteil wird zunächst die modifizierte Referenzentwicklung (bis zum Jahr 2030) unter der Voraussetzung fortgeschrieben, dass die Intensität der Politik zur Förderung erneuerbarer Energien künftig aufrechterhalten wird. Hiervon ausgehend wird die Nutzung erneuerbarer Energien in den Reduktionsszenarien I und II (gemäß den in Kapitel 4 dargestellten Modellrechungen) analysiert und interpretiert. Auf dieser Grundlage werden unter zusätzlicher Berücksichtigung von längerfristigen Szenarien, die bis zur Mitte des Jahrhunderts reichen, im folgenden Abschnitt Handlungsnotwendigen und geeignete politische Instrumente diskutiert.

Tabelle 5.9-1 Nutzung erneuerbarer Energien im modifizierten Referenzszenario

a) Elektrische Energie in TWh

	2000	2010	2020	2030	2050
Wasserkraft	25,1	21,6	22,5	23,3	24,0
Windkraft	9,5	38,0	61,0	79,0	111,0
Biomasse	1,6	6,0	11,0	15,0	20,0
Photovoltaik	0,1	0,9	3,0	6,0	15,0
Geothermie	0,0	0,5	1,5	3,0	8,0
Summe	36,3	67,0	99,0	126,3	178,0

b) Wärme und Treibstoff in PJ

	2000	2010	2020	2030	2050
Biomasse, -gas	183,6	290,0	320,0	350,0	360,0
Biodiesel	12,7	56,0	65,0	70,0	80,0
Solarthermie	4,6	25,0	50,0	75,0	125,0
Geothermie	3,5	4,5	20,0	45,0	90,0
Summe	204,4	375,5	455,0	540,0	655,0

Schätzungen des DIW unter Berücksichtigung aktueller Langfristszenarien

In Tabelle 5.9-1 ist die modifizierte Referenzentwicklung erneuerbarer Energien in Deutschland getrennt nach den Bereichen Strom- und Wärme- bzw- Treibstoffbereitstellung dargestellt. Über die Entwicklung bis 2030 hinaus ist hier auch eine mögliche Fortschreibung bis 2050 skizziert, die sich insbesondere an WI, DLR (2002) orientiert. Es ist aber zu betonen, dass mit dieser Entwicklung noch nicht das Bild eines Nachhaltigkeitsszenarios (im Sinne von WI, DLR 2002), sondern ein Referenzpfad betrachtet wird.

Bei der Nutzung von *Wasserkraft* wird auch in längerfristiger Perspektive die Referenzentwicklung der Enquete-Kommission beibehalten. Danach erhöht sich der Beitrag der Wasserkraft in Deutschland (normaljahrbereinigt) langfristig um bis zu rund 20 %.

Dagegen ist aus gegenwärtiger Sicht davon auszugehen, dass sich die *Windenergienutzung* weitaus dynamischer entwickelt, als von der Enquete-Kommission unterstellt. Sofern es künftig nicht zu einer Verschlechterung der Förderung von Windenergie kommt, könnten in der (modifizierten) Referenzentwicklung bis 2030 insgesamt 33 GW installiert sein, davon rund 10 GW auf See. Hiermit könnten im Jahr 2030 rund 79 TWh Strom erzeugt werden. Bei einer Fortschreibung einer kontinuierlichen Entwicklung bis 2050 könnten dann - bei weiter steigendem Offshore-Anteil - mit rund 43 GW insgesamt 111 TWh Strom produziert werden.

Auch die Stromerzeugung aus *Biomasse* (einschl. -gase) würde sich nach dem hier betrachteten Szenario bis 2030 mit einer Erhöhung auf 15 TWh wesentlich schneller entwickeln als im Referenzszenario der Enquete-Kommission (rund 8 TWh). Ein Beitrag von 20 TWh könnte in diesem Szenario etwa im Jahr 2050 erreicht werden. WI, DLR (2002) rechnen mit einem solchen Beitrag der Biomasse zur Stromerzeugung sogar (sowohl im Nachhaltigkeits- als auch im Effizienzszenario) schon im Jahr 2020.

Bei einer Fortführung der kräftigen Förderung der Markteinführung von *Photovoltaik* in den Stromverbund erscheint für das Jahr 2030 eine Größenordnung von 6 TWh als realistisch. Dies wäre immerhin etwa das Vierfache des von der Enquete-Kommission für diesen Zeitpunkt erwarteten Beitrags. Dennoch ist der Zuwachs noch deutlich langsamer als im Nachhaltigkeitsszenario von WI, DLR (2002). Bis zur Mitte des Jahrhunderts könnte der Beitrag der Photovoltaik in Deutschland bei kontinuierlicher Förderung auf etwa 15 TWh wachsen (zum Vergleich: Enquete-Kommission 9 TWh, WI, DLR 20 TWh).

Für die *geothermische* Stromerzeugung in Deutschland werden hier für 2030 3 TWh und für 2050 8 TWh angenommen. Langfristig stimmt diese Schätzung der Stromerzeugung mit dem Ansatz der Enquete-Kommission überein, allerdings wird dort für den Zeitraum bis 2030 ein flacherer Pfad angenommen. Im Nachhaltigkeitsszenario von WI, DLR (2002) wird dagegen langfristig ein doppelt so hoher Beitrag der Geothermie zur Stromerzeugung betrachtet.

In der Summe ergibt sich für Deutschland im Jahr 2030 eine *regenerative Stromerzeugung* von 126 TWh, wobei der Anteil der Windenergie zwei Drittel beiträgt. Danach kommt es bis zur Jahrhundertmitte zu einer weiteren Zunahme um fast die Hälfte auf 178 TWh. Bezogen auf die heutige Bruttostromerzeugung wären dies rund 30 %.

Bei der *Wärmebereitstellung* aus erneuerbaren Energien dürfte auch längerfristig die *Biomasse* im Vordergrund stehen, für die hier 350 PJ im Jahr 2030 und danach nur noch eine geringe Zunahme erwartet werden. Diese Entwicklung entspricht in etwa dem Effizienzszenario in WI, DLR (2002).

Die Entwicklung *biologischer Kraftstoffe* wie Biodiesel wird unterschiedlich eingeschätzt. Während WI, DLR (2002) hier kaum Potenziale sehen, berücksichtigt die Enquete-Kommission ein kontinuierliches Wachstum bis 22 PJ in 2050, allerdings vollständig auf Basis von Importen. Angesichts der aktuellen Trends wird hier ein wesentlich stärkeres Wachstum auf 70 PJ im Jahr 2030 berücksichtigt. Besonders hohe Wachstumsraten werden dabei bereits für dieses Jahrzehnt erwartet.

Mit einem dauerhaft starken Wachstum wird bei der Nutzung von *solarthermischen* Anlagen gerechnet. Dies könnte zu einem Wärmebeitrag von etwa 75 PJ in 2030 und von 125 PJ in 2050 führen. Eine solche Entwicklung geht einerseits deutlich über die Erwartungen der Enquete-Kommission hinaus (zumal dort Wärmepumpen eingerechnet werden), sie entspricht andererseits aus Sicht von WI, DLR (2002) eher einem Status quo- als einem Effizienz- oder gar einem Nachhaltigkeits-Szenario.

Auch die *geothermische* Wärmebereitstellung könnte künftig kontinuierlich stark zunehmen und dann deutlich zur Wärmebilanz beitragen. Bis zum Jahr 2030 könnte in diesem Szenario ein Wärmebeitrag von 45 PJ erreicht werden.

In der Summe würde sich die *Wärme- und Kraftstoffbereitstellung* aus erneuerbaren Energien bis 2030 auf 540 PJ und danach bis 2050 auf 655 PJ erhöhen. Dies entspricht in etwa einer Verdreifachung des bisherigen Beitrags.

Es ist zu betonen, das sich eine Entwicklung gemäß Tabelle 5.9-1 nicht quasi „von allein“ ergibt, sondern dass hierbei vielmehr eine Fortsetzung der aktiven Förderpolitik zu Gunsten erneuerbarer Energien mit der gegenwärtigen Intensität vorausgesetzt wird. Bei einer Verminderung der Förderanstrengungen wäre langfristig mit geringen Beiträgen erneuerbarer Energien zurechnen. Umgekehrt könnten langfristig noch deutlich höhere Beiträge erreicht werden, wenn der Ausbau erneuerbarer Energien künftig noch mehr - im Sinne von Nachhaltigkeitsszenarien - forciert würde.

In den bis 2030 reichenden *Modellrechnungen* (siehe Kapitel 4) sind diese Zusammenhänge zum Teil bereits berücksichtigt worden, sei es durch exogene Vorgaben für das Modell-Basis-Szenario oder aber im Ergebnis von Szenarien mit ambitionierten Zielen der Reduktion von Treibhausgasen (Tabelle 5.9-2).

Beim direkten Vergleich zwischen Modellergebnissen und partiellen Szenarioüberlegungen für einzelne Bereiche des Energiesystems ist allerdings zu beachten, dass im Modell eine strenge Optimierung anhand von vorgegebenen Kosten und Potentialen für definierte Anwendungsbereiche erfolgt, während die oben dargestellten Szenarien Perspektiven beschreiben, die sich aus dem Blickwinkel einer absehbaren Entwicklung unter Berücksichtigung der gegenwärtigen und künftigen Politik für unterschiedliche Techniklinien ergeben. Aus diesem Grunde sind eher die allgemeinen Tendenzen zu vergleichen als einzelne Zahlenwerte.

Im Hinblick auf die Nutzung erneuerbarer Energien im *Modell-Basis-Szenario* ist insbesondere die exogene Vorgabe der künftigen Leistung von *Windkraftanlagen* von Bedeutung. Dies führt im Modell bereits im Basis-Szenario zu einer sehr hohen Stromerzeugung aus Windkraftanlagen im Jahr 2030, die von der Größenordnung her mit dem oben betrachteten modifizierten Referenzszenario kompatibel ist.[148] Insgesamt erreichen erneuerbare Energien im Basis-Szenario im Jahr 2030 an der Stromerzeugung einen Anteil von 23 % und am Primärenergieverbrauch einen Anteil von 7 %.

Tabelle 5.9-2 Beitrag erneuerbarer Energien in den Modellszenarien

	2010			2020			2030		
	Basis	Red. I	Red. II	Basis	Red. I	Red. II	Basis	Red. I	Red. II
	Primärenergieverbrauch in PJ								
Windkraft	137	137	137	208	213	247	330	405	423
Wasserkraft	68	68	68	68	68	90	68	68	92
Biomasse	305	305	305	360	360	382	420	420	898
Sonstige	30	30	30	46	46	46	7	8	26
EE Gesamt	540	540	540	682	687	766	826	901	1439
Insgesamt	13487	13303	12949	12661	12047	11077	11817	10760	10010
	Anteil am Primärenergieverbrauch erneuerbarer Energien in %								
Windkraft	25,3	25,3	25,3	30,5	31,0	32,3	40,0	44,9	29,4
Wasserkraft	12,6	12,6	12,6	10,0	9,9	11,8	8,2	7,5	6,4
Biomasse	56,4	56,4	56,4	52,8	52,4	49,9	50,9	46,6	62,4
Sonstige	5,6	5,6	5,6	6,8	6,7	6,0	0,9	0,9	1,8
EE Gesamt	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	Anteil am gesamten Primärenergieverbrauch in %								
Windkraft	1,0	1,0	1,1	1,6	1,8	2,2	2,8	3,8	4,2
Wasserkraft	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,8	0,6	0,6	0,9
Biomasse	2,3	2,3	2,4	2,8	3,0	3,4	3,6	3,9	9,0
Sonstige	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,1	0,1	0,3
EE Gesamt	4,0	4,1	4,2	5,4	5,7	6,9	7,0	8,4	14,4
Insgesamt	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	Stromerzeugung in TWh								
Windkraft	38	38	38	58	59	69	92	112	117
Wasserkraft	19	19	19	19	19	25	19	19	26
Biomasse u.a.	9	7	7	14	11	14	13	11	40
EE Gesamt	66	64	64	91	89	108	124	142	183
Insgesamt	546	537	536	550	507	483	543	492	479
	Anteil an der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in %								
Windkraft	58,1	59,4	59,4	63,6	66,2	63,8	74,0	79,2	64,3
Wasserkraft	28,8	29,5	29,5	20,8	21,2	23,3	15,2	13,3	14,0
Biomasse u.a.	13,1	11,2	11,2	15,6	12,6	12,9	10,8	7,5	21,8
EE Gesamt	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	Anteil an der gesamten Stromerzeugung in %								
Windkraft	7,0	7,1	7,1	10,5	11,7	14,2	16,9	22,9	24,5
Wasserkraft	3,5	3,5	3,5	3,4	3,7	5,2	3,5	3,8	5,3
Biomasse u.a.	1,6	1,3	1,3	2,6	2,2	2,9	2,5	2,2	8,3
EE Gesamt	12,0	11,9	12,0	16,5	17,6	22,3	22,8	28,9	38,1
Insgesamt	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Es sei nochmals daran erinnert, dass sich solche Beiträge im Optimierungsmodell ohne Berücksichtigung von Zielen der Emissionsreduktion und ohne exogene Vorgabe von Mindestnutzungen nicht ergeben würden, weil die Kosten erneuerbarer Energien (im Basis-Szenario,

[148] Auf eine genaue Kalibrierung des Modell-Basis-Szenarios an das modifizierte Referenzszenario wurde verzichtet. Dies betrifft u.a. auch die Nutzung der Photovoltaik, die selbst im Reduktionsszenario II nicht in Lösung geht.

also ohne Umweltgutschrift) in vielen Anwendungsfällen auch künftig höher sein werden als diejenigen von konkurrierenden Energiesystemen.

Dies ändert sich allerdings, wenn ambitionierte Reduktionsziele berücksichtigt werden. So steigt vor allem die Stromerzeugung aus Windkraftanlagen in beiden *Reduktionsszenarien* ab 2020 noch deutlich über das vorgegebene Maß im Basis-Szenario hinaus weiter an. Im Jahr 2030 werden in Windkraftanlagen 112 TWh Strom in Reduktionsszenario I und 117 TWh in Reduktionsszenario II erzeugt.

In Kapitel 4 ist abweichend vom Basis-Szenario u.a. auch eine Sensitivitätsrechnung für den Fall dargestellt, dass die Windenergienutzung längerfristig auf dem Niveau des Jahres 2010 verharrt. Eine solche Situation könnte sich in der Realität insbesondere dann ergeben, wenn die Förderintensität abrupt vermindert wird. In diesem Fall würde insbesondere im Jahr 2030 allerdings eine große Differenz gegenüber dem kosteneffizienten Einsatz der Windenergie in den Reduktionsszenarien bestehen; im Vergleich zu diesem modifizierten Basisszenario müsste die Windenergienutzung im Reduktionsszenario II im Jahr 2030 dann erheblich (um 76 TWh) erhöht werden. Allerdings wären die Mehrkosten bei dieser Betrachtung zum größeren Teil dem Reduktionsszenario und weniger dem Basis-Szenario zuzurechnen.

Dies zeigt, das insbesondere die Nutzung von Windenergie eine kosteneffiziente Option zur Verminderung von Treibhausgasen darstellen kann. Allerdings ist bei den genannten Größenordnungen insbesondere vorausgesetzt, dass sich die gegenwärtig betrachteten Potenziale des Offshore-Einsatzes künftig (trotz der gegenwärtig noch bestehenden Unsicherheiten) großtechnisch realisieren lassen.

Im Vergleich zur Windenergie nimmt die Nutzung anderer erneuerbarer Energien in den Reduktionsszenarien gegenüber dem Basis-Szenario allerdings weniger zu:

- Wasserkraft erhöht sich im Reduktionsszenario II bis zum Jahr 2030 auf 26 TWh.
- Biomasse nimmt im Zeitverlauf zu und erreicht im Reduktionsszenario II fast 900 PJ.
- Sonstige erneuerbare Energiequellen werden in den Reduktionsszenarien im Vergleich zum Basis-Szenario kaum zusätzlich genutzt.

Insgesamt betrachtet ist der Beitrag erneuerbarer Energien nach den Modellrechnungen bis 2030 selbst in den Reduktionsszenarien mit Ausnahme der Windenergie im Vergleich zu poli-

tischen Langfristzielen recht gering. In der Summe erreichen erneuerbare Energien in den Reduktionsszenarien I und II Anteile von rund 29 bzw. 38 % an der Stromerzeugung und von gut 8 bzw. 14 % am Primärenergieverbrauch. Trotz der eingerechneten Kostensenkungspotenziale und der Emissionsverminderung erlangt speziell die Nutzung von Solarenergie weder zur Stromerzeugung noch zur Bereitstellung von Heizwärme die im Modell erforderliche Wettbewerbsfähigkeit gegenüber den jeweiligen Konkurrenzsystemen bzw. Optionen zur Energieeinsparung.

Zumindest in längerfristiger Betrachtung sind weitaus höhere Beiträge erneuerbarer Energien zur Energieversorgung in Deutschland vorstellbar, als dies in den dargestellten Modellrechungen zum Ausdruck kommt. Ausgehend von langfristigen Nachhaltigkeitszielen (insbesondere einer drastischen Verminderung der Emission von Treibhausgasen) und realisierbaren Ausbaupfaden für Systeme zur Nutzung erneuerbarer Energien wird in Langfristszenarien gezeigt, dass erneuerbare Energien schon bis zur Mitte des Jahrhunderts einen Großteil des Energiebedarfs decken könnten. So wird im *Nachhaltigkeitsszenario* von WI, DLR (2002) im Jahr *2050* ein Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch von 37 % erreicht. Dabei ist zu beachten, dass der Primärenergieverbrauch dann mit 6600 PJ nur noch etwa halb so hoch wäre wie heute. Zur Deckung des Stromverbrauchs tragen erneuerbare Energien in diesem Szenario im Jahr 2050 (einschließlich Import von Regenerativstrom) sogar 61 % bei. Im Ergebnis dieses Szenarios, das sowohl Energieeinsparung als auch Substitution fossiler Energien betont, können die CO_2-Emissionen in Deutschland innerhalb der betrachteten fünf Jahrzehnte insgesamt um 76 % gesenkt werden.

In einer *Maximalvariante* erhöht sich der Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch im Jahr *2050* darüber hinaus sogar auf 57 %, wobei elektrische Energie und Wasserstoff als Sekundärenergieträger noch mehr an Bedeutung gewinnen. Um einen so hohen Gesamtbeitrag erneuerbarer Energien realisieren zu können, müssen alle Nutzungssysteme verstärkt ausgebaut werden. Wind, Biomasse, Solarkollektoren, Erdwärme und Solarstromimport tragen dann jeweils rund 10 %, Photovoltaikanlagen gut 3 % und Wasserkraft über 1 % zum Primärenergieverbrauch in Deutschland bei. Die CO_2-Emissionen sinken in dieser Variante im Betrachtungszeitraum (gegenüber 1999) insgesamt um 85 %.

Solche Szenarien zeigen, dass erneuerbare Energien langfristig auch in Deutschland die Energieversorgung dominieren könnten. Zu ihrer Realisierung wären allerdings beträchtliche frühzeitige und auf Dauer angelegte Anstrengungen zur forcierten Förderung der unterschiedli-

chen Systeme erforderlich. Selbst wenn man von einer Maximalvariante absieht, erfordert ein Ausbaupfad gemäß dem skizzierten Nachhaltigkeitsszenario, dass die Verdopplungsziele bis 2010 mindestens erreicht werden und dass die Nutzung erneuerbarer Energien auch danach durch weitere Fördermaßnahmen angetrieben wird.

5.9.2 Politischer Handlungsbedarf und Instrumentenwahl

Aus den unterschiedlichen Szenarienbetrachtungen ergeben sich erhebliche Herausforderungen für die künftige Politik zur Förderung erneuerbarer Energien:

- Im *Referenzszenario* der Enquete-Kommission nimmt die Nutzung erneuerbarer Energien künftig zwar zu; die Verdopplungsziele bis 2010 werden hier aber nicht erreicht. Allerdings sind die Impulse der gegenwärtigen Förderpolitik zum Teil deutlich unterschätzt worden.

- Das oben betrachtete, *modifizierte Referenzszenario* geht davon, dass die gegenwärtige Intensität der Förderpolitik auch längerfristig aufrechterhalten wird. Im Vergleich zum Referenzszenario der Enquete-Kommission ergibt sich ein schnellerer Ausbau erneuerbarer Energiesysteme, insbesondere der Windenergienutzung. Zur Stützung einer solchen Referenzentwicklung muss das Förderinstrumentarium künftig weiterentwickelt werden.

- Die mit Hilfe des Optimierungsmodells quantifizierten *Reduktionsszenarien* zeigen, dass erneuerbare Energien zumindest zum Teil schon im Betrachtungszeitraum bis 2030 kosteneffiziente Optionen zur CO_2-Verminderung darstellen und deshalb zur Erreichung von anspruchsvollen Klimaschutzzielen verstärkt genutzt werden sollten; dies gilt aus gegenwärtiger Sicht vor allem für Windenergie und Biomasse. Zur Umsetzung solcher Szenarien wären zum Teil aber weitere, verstärkte Fördermaßnahmen erforderlich.

- Längerfristige *Nachhaltigkeitsszenarien* deuten vor allem darauf hin, dass auf Dauer nicht nur die gegenwärtig relativ kostengünstigen Systeme zum Einsatz kommen müssten, sondern dass ein breiterer Anwendungsmix der unterschiedlichen erneuerbaren Energiequellen erforderlich sein wird, wenn regenerative Energien insgesamt eine dominierende Rolle in der Energieversorgung spielen sollen. Dies erfordert die Weiterentwicklung eines Maßnahmenbündels, mit dem zugleich die Markteinführung und Verbreitung sowie die Forschung und Entwicklung von neuen Techniken im internationalen Kontext gefördert werden.

Für die Förderung erneuerbarer Energien steht grundsätzlich ein umfangreiches Instrumentarium zur Verfügung. Dabei sind allgemeine Instrumente, die technik- und sektorübergreifend dem Umwelt- bzw. Klimaschutz dienen, zu unterscheiden von Instrumenten, mit denen speziell die Nutzung erneuerbarer Energien gefördert werden soll. Bei den *allgemeinen* umweltpolitischen Instrumenten finden ökonomische Instrumente wie Energiesteuern und handelbare Emissionsrechte anstelle von ordnungsrechtlichen Maßnahmen mehr und mehr Beachtung.[149] Zugleich erfordern Liberalisierung, Globalisierung und internationale Vereinbarungen zum Klimaschutz stärker als bisher eine internationale Abstimmung von Strategien, eine Harmonisierung von Zielen und Instrumenten sowie eine Anwendung gemeinsamer Mechanismen (insbesondere im Rahmen der EU und des Kyoto-Instrumentariums).

Solche Rahmenbedingungen sind auch bei der künftigen Weiterentwicklung der *speziellen* Förderung erneuerbarer Energien zu berücksichtigen. Neben der Förderung von Forschung und Entwicklung sowie dem Abbau von institutionellen Hemmnissen kann die Nutzung erneuerbarer Energien künftig insbesondere durch folgende Instrumente gefördert werden:[150]

- Subventionen (Investitions- oder Betriebszuschüsse, Bürgschaften, zinsverbilligte Kredite, ggf. mit Restschulderlass, Steuererleichterungen)
- Gesetzliche Mindestvergütungen mit Belastungsausgleich (vgl. EEG)
- Gesetzliche Vergütungszuschläge mit Belastungsausgleich (vgl. KWK-G)
- Mindestquoten und Handel mit grünen Zertifikaten
- Ausschreibungsverfahren mit Bieterwettbewerb
- Selbstverpflichtungen zur Nutzung erneuerbarer Energien
- Märkte für (zertifizierte) grüne Energie

Solche Maßnahmen dienen vorrangig dazu, gegenwärtige Wettbewerbsnachteile erneuerbarer Energien zu vermindern oder auszugleichen. Dabei werden die Mehrkosten im Fall von Subventionen (öffentlichen Finanzhilfen und Steuerminderungen) durch den Staatshaushalt finan-

---

[149] In diesem Zusammenhang wird auch gefordert, dass bestehende Verzerrungen wie umweltschädigende Subventionen überprüft werden.

[150] Außer den genannten speziellen Instrumenten sind auch ordnungsrechtliche Maßnahmen zugunsten erneuerbarer Energien wie Nutzungsgebote z.B. für Solarkollektoren möglich. Im Vergleich zu ökonomischen Anreizen lassen solche Maßnahmen den privaten Haushalten oder Unternehmen allerdings weniger Flexibilität und sind deshalb in der Regel mit höheren volkswirtschaftlichen Kosten verbunden.

ziert, d.h. letztlich vom Steuerzahler. Die Nutzung erneuerbarer Energien hängt in diesem Fall davon ab, wie wirtschaftlich die Techniken für einzelne Investoren unter Berücksichtigung z.B. von den gewährten Zuschüssen in Relation zu konkurrierenden Systemen sind. In der Regel werden solche Subventionen allerdings (wie beim Marktanreizprogramm und beim 100 000-Dächer-Programm) durch Budgetvorgaben oder Mengenrestriktionen beschränkt.

Dagegen erfolgt die Finanzierung der Mehrkosten im Fall von Mindestvergütungen (wie beim EEG) über ein Umlageverfahren durch die Energieverbraucher. Dies gilt ebenso für eine entsprechende Förderung mit Zuschlägen (Bonussystem wie beim KWK-Gesetz) und für einen Handel mit grünen Zertifikaten im Rahmen eines Quotensystems. Im Fall von Ausschreibungsverfahren ist grundsätzlich eine Finanzierung über den Staatshaushalt als auch über Energiepreise möglich. Selbstverpflichtungen und (ungeförderte) Märkte für grüne Energie beruhen hingegen grundsätzlich nicht auf regulierenden Eingriffen, sondern auf freiwilligen Initiativen, die auch den Staatshaushalt nicht direkt berühren; erforderlich sind hierfür allerdings geeignete wettbewerbliche Rahmenbedingungen wie eine allgemein anerkannte Zertifizierung von erneuerbaren Energien (Herkunftsnachweis).

Tabelle 5.9-3 Klassifikation preis- und mengenpolitischer Regulierung zur speziellen Förderung erneuerbarer Energien

	Preispolitische Instrumente	Mengenpolitische Instrumente
Gesamtvergütung	Mindestvergütung	Ausschreibung
Separate Vergütung	Zuschlag	Quote

Mindestvergütungen, Zuschläge, Quoten und Ausschreibungen für erneuerbare Energien sind unterschiedliche *Grundtypen* zur speziellen Regulierung von Strom- bzw. Energiemärkten (Tabelle 5.9-3). Während Mindestvergütungen und Zuschläge direkt die Preise beeinflussen, erfolgt im Fall von Quoten und Ausschreibungen zunächst eine Mengenvorgabe, die sich indirekt auf die Preise auswirkt. Neben der Einteilung in preis- und mengenpolitische Instrumente lassen sich diese Grundtypen danach unterscheiden, ob im Ergebnis eine Gesamtvergütung für erneuerbare Energie erfolgt, oder ob die bereitgestellte Energie und die Eigenschaft der regenerativen Erzeugung bzw. Emissionsfreiheit separat vergütet werden. In einem Quotensystem werden Energie und grüne Zertifikate auf getrennten Märkten gehandelt; in Abhängigkeit von der vorgegebenen Quote und damit der regulierten Nachfrage nach Zertifika-

ten resultiert dann als Marktergebnis ein Zertifikatspreis. Der Anbieter von erneuerbarer Energie erhält als Vergütung zum einen den Preis für die Energie und zum anderen den Zertifikatspreis. Eine solche Separierung erfolgt auch bei Zuschlägen, wobei sich in diesem Fall die Menge als Marktergebnis herausbildet.

Sowohl bei Umlagesystemen als auch im Quotenmodell müssen die Energieverbraucher letztlich einen Mischpreis zahlen, der sich aus dem Anteil erneuerbarer Energie α, der Gesamtvergütung für regenerative Energie $v = p_r + p_z$ und dem Preis für konkurrierende Energie p_0 ergibt:

$$p_M = p_0 + \alpha \cdot (p_r + p_z - p_0) .$$

Der Preisbestandteil p_z ist im Quotensystem als Zertifikatspreis und im Bonussystem als Preiszuschlag zu interpretieren. Die Gesamtvergütung $v = p_r + p_z$ wird im Vergütungsmodell vorgegeben und im Ausschreibungsmodell im Bieterwettbewerb ermittelt.

Die Wahl der politischen Instrumente und ihre konkrete Ausgestaltung sind generell auf zwei Ebenen zu bewerten, nämlich[151]

- der Ebene der grundsätzlichen Wirksamkeit sowie der ökonomisch-ökologischen Effizienz der Maßnahmen unter Berücksichtigung von Umsetzungskosten und dynamischen Anreizwirkungen und

- der Ebene der Systemkonformität im Hinblick auf Verfassung, Wirtschaftsordnung, nationales und internationales Recht unter besonderer Berücksichtigung zunehmend liberalisierter Energiemärkte in Europa.

Die Wirksamkeit der politischen Maßnahmen im Hinblick auf den Beitrag zur Zielerreichung ist eine wesentliche Grundvoraussetzung. Um dem allgemeinen Wirtschaftlichkeitsprinzip zu genügen, sollten die Maßnahmen darüber hinaus so ausgewählt und gestaltet werden, dass mit einem gegebenen Aufwand im privaten und staatlichen Bereich ein möglichst hoher Ertrag erzielt wird. Dabei kommt es weniger auf die kurzfristige Zurechnung von Aufwand und Ertrag an, sondern vor allem auf die Impulse, die hiermit für die längerfristige Entwicklung gegeben werden.

---

[151] Vgl. zum Folgenden auch DIW u.a. (2001).

Auch die Systemkonformität ist grundsätzlich eine unabdingbare Voraussetzung für einen nachhaltig erfolgreichen Instrumenteneinsatz. Dies gilt insbesondere für die Verträglichkeit einer Maßnahme mit nationalem und internationalem Recht sowie die politische Durchsetzbarkeit und Akzeptanz der Maßnahmen. Eine zunehmende Bedeutung haben aber auch wirtschaftspolitische Ziele und Restriktionen, die sich zum einen auf die Bestrebungen zur Liberalisierung der Energiemärkte und zum anderen auf die Vermeidung von Dauersubventionen beziehen. Allerdings können Konflikte zwischen wirtschaftlichen, ökologischen, politischen und rechtlichen Anforderungen generell nicht vollständig vermieden werden.

Für die längerfristige Entwicklung erneuerbarer Energien stellen sich vor diesem Hintergrund insbesondere folgende Fragen:

- Ist zur Internalisierung externer Effekte bzw. zur Erreichung von Klimaschutzzielen auf Dauer eine spezielle Förderung erneuerbarer Energien nötig oder reichen künftig allgemeine Instrumente (wie Steuern oder Emissionshandel) aus?
- Soll im Fall einer speziellen Förderung eine weitere Selektion bzw. Differenzierung z.B. nach Techniken und Anwendungsfeldern erfolgen um Mitnahmeeffekte zu vermeiden oder sollen aus Effizienzgründen unterschiedliche Verkäuferrenten bewusst in Kauf genommen werden?
- Sollen Begrenzungen und Degressionen der Förderung vorgegeben werden und in welchem Maße können zumindest teilweise Marktkräfte zur Effizienzsteigerung der Förderung genutzt werden?
- Wie kann dem Verursacherprinzip am besten Rechnung getragen werden?
- Soll die Marktregulierung - soweit möglich - über eine Steuerung der Preise oder der Mengen erfolgen?
- Welche Notwendigkeiten und welche Möglichkeiten bestehen zur Kombination von unterschiedlichen Politikmaßnahmen?

Diese Fragen lassen sich nicht allein anhand eines einfachen theoretischen Modells beantworten, sondern nur unter Berücksichtigung der Heterogenitäten der relevanten Techniken und der bereitgestellten Energien, der Dynamik von Kosten und Märkten, der Unsicherheiten über investitionsrelevante Faktoren und der internationalen Einbettung politischer Maßnahmen. Angesichts der skizzierten Komplexität ist es verständlich, dass über den „richtigen“ Weg einer Förderung erneuerbarer Energien oftmals heftig gestritten wird. Im Folgenden soll hierzu

kein Patentrezept empfohlen werden, sondern es sollen einige Hinweise gegeben werden, in welche Richtungen sich die Förderpolitik künftig weiterentwickeln könnte.

Allgemeine und spezielle Förderung

Aus umweltökonomischer Sicht werden zur Internalisierung externer Effekte insbesondere Energie- oder Emissionssteuern und handelbare Emissionszertifikate (als allgemeine ökonomische Instrumente) präferiert. Bei ausreichender Steuerhöhe oder Knappheit an Zertifikaten und perfekten Märkten wären theoretisch keine speziellen Fördermaßnahmen für bestimmte Techniklinien oder Energieträger erforderlich. Es käme zu einem tendenziellen Ausgleich der Grenzvermeidungskosten in unterschiedlichen Sektoren und zu einem optimalen Mix der Beiträge von erneuerbaren Energien, Energieeinsparung und rationeller Energieverwendung. Bisher bewirkt die Energiebesteuerung allerdings nur geringe Impulse zur Nutzung erneuerbarer Energien, da die Steuersätze noch relativ gering sind und außerdem bisher Regenerativstrom zum Großteil ebenfalls besteuert wird. Auch der beginnende Emissionshandel wird kaum zu einer spürbaren Förderung erneuerbarer Energien führen; zumal zunächst nicht mit beträchtlichen Emissionszertifikatspreisen zu rechnen ist und die Rechte kostenlos an Emittenten von Treibhausgasen vergeben werden.

Solange durch allgemeine Instrumente aus politischen Gründen nur eine unvollständige Internalisierung erreicht werden kann, ist es ökonomisch im Sinne einer Second-Best-Lösung sinnvoll, gleichzeitig spezielle Instrumente anzuwenden, auch wenn dadurch Differenzen in den Grenzvermeidungskosten hervorgerufen werden. Selbst bei wesentlich höherer Dosierung von allgemeinen Instrumenten kann es mit Blick auf die dynamische Effizienz erforderlich sein, nicht nur Forschung und Entwicklung, sondern auch die Markteinführung von erneuerbaren Energien zusätzlich gezielt zu fördern, um langfristig deren Potenziale kostengünstiger nutzen zu können.

Es ist gegenwärtig kaum absehbar, wie lange eine spezielle Förderung erneuerbarer Energien in Zukunft erforderlich sein wird. Maßgeblich hierfür sind zum einen politische Faktoren wie die Weiterentwicklung allgemeiner Instrumente und Langfristziele zum Umweltschutz sowie zum anderen Preis-, Kosten- und Technikentwicklungen sowohl im Bereich erneuerbarer Energien als auch im Bereich konkurrierender fossiler Energien. Insbesondere bei anspruchsvollen Langfristzielen zum Klimaschutz und entsprechenden Zielen zur langfristigen Nutzung

erneuerbarer Energien ist aus heutiger Sicht davon auszugehen, dass spezielle Maßnahmen zur Förderung erneuerbarer Energien noch über mehrere Jahrzehnte erforderlich sein werden.

Abnehmende Differenzierung der Förderung nach Kosten

Eine Differenzierung der Förderung nach Energieträgern, Techniken, Anwendungsfeldern oder Einsatzgebieten kann vom Prinzip her mit den meisten der aufgeführten Maßnahmen verbunden werden, sodass die Beantwortung dieser Frage nicht von vornherein für oder gegen bestimmte Grundtypen der Förderung spricht. In der gegenwärtigen Förderung - sowohl durch Subventionen als auch durch das EEG - erfolgen unterschiedliche Selektionen und Differenzierungen im Hinblick auf kostenorientierte Kriterien. Auch bei einem Bonussystem oder bei der Vorgabe von Quoten wäre dies bis zu einem gewissen Grade möglich. Aus wirtschaftstheoretischer Sicht sind solche Differenzierungen, mit denen letztlich Mitnahmeeffekte vermieden werden sollen, unter bestimmten Annahmen allerdings problematisch, da hierdurch gleichwertige Emissionsvermeidungen unterschiedlich belohnt werden (Drillisch u.a. 2000). Durch die Differenzierungen werden gerade die weniger wirtschaftlichen Projekte stärker gefördert als kostengünstigere. Eine ökonomische Rechtfertigung für solche Differenzierungen kann sich unter den Aspekten der Wirksamkeit wie auch der Effizienz aber aus der faktischen Knappheit der zur Verfügung stehenden Fördermittel ergeben. So macht es z.B. wenig Sinn, mit hohem Aufwand ohnehin betriebene Anlagen zu fördern, anstatt die vorhandenen Ausbaupotenziale besser auszuschöpfen.

Durch eine Differenzierung der Förderung können im ökonomischen Sinne förderbedingte Verkäuferrenten vermieden oder verringert werden, um letztlich mit einem gegebenem Fördervolumen einen möglichst hohen Beitrag zur Umweltentlastung zu erzielen.[152] Entscheidend ist insofern allerdings nicht eine unterschiedliche „Bedürftigkeit“ im Sinne hoher oder niedriger Kosten, sondern eine Differenz der Angebotselastizitäten (gemäß den Grenzkostenverläufen) in unterschiedlichen Segmenten. Aufgrund unvollständiger Information über die genauen Kostenfunktionen sind die Möglichkeiten einer zielgerichteten Differenzierung der Förderung allerdings begrenzt. Aus diesem Grund sollten die z.B. im EEG angelegten Differenzierungen vor allem innerhalb einer Techniklinie nach Möglichkeit nicht verstärkt, sondern eher allmählich verringert werden.

---

[152] Hiervon zu unterscheiden sind Differenzierungen, die vorwiegend technologie- oder industriepolitisch motiviert sind und deshalb in der Regel den Einsatz gesonderter Instrumente erfordern.

Unter dynamischen Aspekten kommt eine weitere ökonomische Begründung für differenzierte Förderungen hinzu, nämlich unterschiedliche Potenziale zu Kostensenkungen. So kann es ökonomisch sinnvoll sein, bestimmte Techniklinien während einer frühen Marktphase relativ stärker zu fördern, um dort besonders hohe Lerneffekte auszulösen und damit längerfristig die Kosten einer erhöhten Nutzung erneuerbarer Energien zu reduzieren. Dieser Aspekt kann insbesondere bei Techniken wie der Photovoltaik von Bedeutung sein. Allerdings sind auch im Hinblick auf Differenzierungen zur Erzielung dynamischer Anreizeffekte die grundsätzlichen Informationsprobleme einer gezielten technikspezifischen Förderung zu beachten, vor allem die Unsicherheiten bei der Beurteilung, in welchem Maße und mit welcher Geschwindigkeit hierdurch Kostenreduktionen realisiert werden können. Außerdem sind solche Differenzierungen naturgemäß nur für eine Übergangszeit zu rechtfertigen. Längerfristig wird mehr und mehr eine Orientierung an den jeweils vermiedenen externen Kosten anzustreben sein.

Berücksichtigung der unterschiedlichen Wertigkeit erneuerbarer Energien

Die Diskussion über differenzierte Förderansätze kann sich nicht auf Unterschiede gegenwärtiger bzw. künftiger Kosten beschränken, sondern muss auch die Heterogenität des Outputs sowie die spezifischen technischen und ökonomischen Verwertungsvoraussetzungen bei der Nutzung der unterschiedlichen erneuerbaren Energiequellen berücksichtigen. Hierzu zählt die unterschiedliche Wertigkeit von Strom oder Wärme im Hinblick auf angebotsseitige Fluktuationen, Regelbarkeit, Leistungseffekte, Transport- und Speicherbedarf. Mit zunehmender Marktdurchdringung wird auch diese Frage nach der richtigen Bewertung unterschiedlicher erneuerbarer Energien noch zunehmen. Anders als bei Systemen, die die Gesamtvergütung regulieren, wird diese Bewertungsfrage sowohl im Quoten- als auch im Bonussystem grundsätzlich dem Markt überlassen. Dadurch wird auch der Anreiz zur Auswahl der kostengünstigsten Techniken und zu weiteren Kostensenkungen verstärkt, wobei allerdings gleichzeitig die Planungssicherheit der Investoren vermindert wird.

Unterschiedliche Wertigkeiten von erneuerbaren Energien können auch auf unterschiedlichen Umwelteffekten beruhen, wobei sowohl positive (z.B. CO_2-Verminderungen) als auch negative (z.B. Natur- und Landschaftsbeeinträchtigungen) Effekte zu betrachten sind. Dies rechtfertigt eine entsprechende Differenzierung von Zuschlägen bzw. Quoten. In der Praxis dürfte eine Quantifizierung von Differenzen der (Netto-) Umwelteffekte allerdings schwierig sein.

Begrenzungen, Degressionen und Nutzung von Marktkräften

Fördermaßnahmen werden in der Regel explizit oder implizit in ihrem Umfang begrenzt, sei es durch vorgegebene Finanzvolumina oder bestimmte mengenmäßige oder zeitliche Beschränkungen. Explizite Begrenzungen und degressive Gestaltungen der Förderbedingungen werden häufig mit dem Ziel der Vermeidung von „Dauersubventionen“ gefordert, und zwar sowohl aus ordnungspolitischen als auch (im Fall von staatlichen Subventionen) aus finanzpolitischen Gründen. Mit Förderbegrenzungen werden letztlich mengenpolitische Elemente bei Subventionen oder preispolitischen Maßnahmen berücksichtigt. Zeitliche Degressionen und Fristen führen dazu, dass Projekte beschleunigt durchgeführt und der Druck zu Kostensenkungen erhöhen werden. Wichtig ist hierbei, dass die Förderung längerfristig kalkulierbar und stetig erfolgt, so dass sich private Investoren kontinuierlich an die Förderpolitik anpassen können. Dies gilt sowohl für subventionspolitische, preispolitische als auch für mengenpolitische Förderansätze.

In diesem Zusammenhang ist aber auch die Rolle des Marktes in Relation zu administrativen Vorgaben zu sehen. Soweit die Funktionsfähigkeit der Märkte ausreichend gewährleistet ist, sollte auf administrative Einzellenkung möglichst verzichtet werden. Dies spricht generell für einen im Zeitablauf zunehmenden Einsatz globalwirkender, ökonomischer Instrumente, aber auch dafür, bei speziellen Fördermaßnahmen zunehmend marktwirtschaftliche Elemente zu nutzen und die private Eigenverantwortung für risikobehaftete Investitionsentscheidungen zu stärken. In dieser Hinsicht können Quoten- und Bonussysteme Vorteile gegenüber Subventionen und Vergütungsregelungen aufweisen. Unabhängig von dieser Instrumentenwahl ist ein ausreichendes Maß an Planungssicherheit für private Investoren zu gewährleisten, insbesondere im Hinblick auf die Kontinuität der Förderpolitik.

Beachtung des Verursacherprinzips bei speziellen und allgemeinen Maßnahmen

Die Frage, wer entstehende Mehrkosten des Umweltschutzes bezahlen bzw. tragen soll, ist im Allgemeinen mit dem Verursacherprinzip zu beantworten. Im Einzelfall ist dies aus finanzwissenschaftlicher und rechtlicher Sicht allerdings nicht immer leicht zu konkretisieren. Generell wird die Auffassung vertreten, dass staatliche Ausgaben, die der Allgemeinheit dienen (dies wäre für Klimaschutzmaßnahmen generell zu treffend), aus dem allgemeinen Steueraufkommen zu finanzieren sind. Soll hingegen z.B. speziell die Umweltverträglichkeit der Stromversorgung verbessert werden, dann kommen nach dem Verursacherprinzip die Strom-

verbraucher als Träger der Mehrkosten in Betracht; dies ist bei Vergütungs-, Bonus- und Quotensystemen der Fall. Unabhängig vom Verursacherprinzip haben solche Instrumente den Vorteil, dass Ausmaß und Stetigkeit der Förderung nicht durch finanzpolitische Spielräume eingeengt werden.

Bei umfassenderen Energiesteuern wird letztlich der Energieverbraucher belastet. Dabei hätte eine stärker emissionsorientierte Besteuerung der Primärenergieträger im Vergleich zur bestehenden Strombesteuerung eine stärkere Lenkungswirkung auf den Energiemix, wodurch erneuerbare Energien unmittelbar profitieren würden. Ein ähnlicher Effekt könnte erreicht werden, wenn sie dem Verursacherprinzip folgend von der Stromsteuer befreit würden (was auch mit europäischem Recht verträglich ist). Als Kompensation für die Besteuerung erneuerbarer Energien werden gegenwärtig erhöhte Subventionen für (andere) Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energien gewährleistet. Dies begründet freilich keine Beschränkung von förderpolitischen Finanzhilfen für erneuerbare Energien auf die Höhe der anteiligen Stromsteuer.

Anders als im Strombereich bestehen im Wärmebereich bisher geringe Möglichkeiten für marktregulierende Instrumente wie Vergütungs-, Zuschlags- oder Quotenregelungen. Insoweit sind hier nach wie vor in erster Linie Förderungen durch Subventionen erforderlich. Die Bemessungsgrundlage sollte sich dabei möglichst stark am Output bzw. zumindest an der Kapazität der geförderten Anlagen orientieren. Für die Förderung größerer Projekte im Wärmebereich könnten künftig zusätzlich Ausschreibungsverfahren an Bedeutung gewinnen, um die Kosteneffizienz zu erhöhen.

Preis- oder mengenpolitische Förderung

In der umweltökonomischen Instrumentendiskussion wie auch in der gegenwärtigen Auseinandersetzung über den besten Weg zur Förderung erneuerbarer Energien steht häufig die grundsätzliche Frage im Vordergrund, ob die Intervention auf den Energiemärkten durch eine Steuerung der Preise oder der Mengen erfolgen soll. Während sich bei preispolitischen Maßnahmen die Mengen am Markt herausbilden, werden im anderen Fall die Mengen vorgegeben und die Preisbildung dem Markt überlassen. Aus theoretischer Sicht spricht zunächst nichts für den einen oder anderen Ansatz, solange man von unvollkommener Information und von Transaktionskosten absieht. Insoweit sind Preis- und Mengenpolitik im Hinblick auf die Systemkonformität grundsätzlich gleichwertig. Wesentliche Kriterien für die Wahl dieser Instru-

mentenkategorien betreffen Fragen der Praktikabilität und die Einschätzung, ob die jeweiligen umweltpolitischen Ziele genauer als Preis- oder Mengengrößen angegeben werden können.[153]

In einem Quotenmodell für erneuerbare Energien resultiert ein Zertifikatspreis, der einem Bonus für die Nutzung erneuerbaren Energien äquivalent ist. Bei vollkommenen Märkten (sowohl für Energie als auch für Zertifikate) könnte in beiden Fällen dasselbe Marktergebnis erreicht werden. In einer Welt unvollkommener Märkte ist ein solcher Vergleich allerdings weitaus schwieriger. Wenn die (dynamische) Angebotsfunktion erneuerbarer Energien nicht bekannt ist, kann ein administrativ vorgegebener Bonus zu einem zu niedrigen oder zu hohen Anteil erneuerbarer Energien führen. Wird umgekehrt administrativ eine Mengenquote festgelegt, dann kann dies umgekehrt zu einem zu geringen oder zu hohen Bonus führen.

Abgesehen von dieser generellen Unsicherheit lassen sich die mit den politischen Alternativen jeweils verbundenen Transaktionskosten bisher kaum hinreichend abschätzen. Im Strombereich können sowohl Vergütungs- und Bonusregelungen als auch handelbare Quoten an vorhandene Marktstrukturen anknüpfen. Im Hinblick auf Transaktionskosten stehen hier den Kosten von Umlageverfahren die Kosten für den Zertifikatshandel gegenüber. Hingegen wären solche Instrumente im Wärmebereich, für den kein vergleichbarer Markt existiert, nur mit einem höheren Zusatzaufwand einsetzbar.

Preispolitische Maßnahmen haben den Vorteil, dass technik- bzw. anwendungsspezifische Differenzierungen der Förderung sich hiermit im allgemeinen leichter implementieren lassen als in einem Quotenmodell, in dem dann separate Teilmärkte (mit höheren Transaktionskosten) geschaffen würden müssten. Mit abnehmender Bedeutung solcher Differenzierungen würden sich allerdings künftig auch diese Vorteile vermindern.

Insgesamt betrachtet kommt der Wahl zwischen preis- und mengenorientierten Instrumenten eine weniger fundamentale Bedeutung zu, als dies in der aktuellen Diskussion häufig den Anschein hat. Bei der längerfristigen Weiterentwicklung von speziellen preispolitischen Maßnahmen ist aus ökonomischer Sicht eine Annäherung an ein Bonussystem vorteilhaft. Ein sol-

---

[153] Bei der Wahl zwischen allgemeinen Energie- bzw. Umweltsteuern und Emissionszertifikaten ist dabei theoretisch von Bedeutung, ob die Grenzvermeidungskosten oder die Grenzschadenskosten stärker von der Emissionshöhe abhängen und mit welchen Unsicherheiten diese Kostenverläufe geschätzt werden können. Bei Instrumenten zur speziellen Förderung erneuerbarer Energien stellt sich dagegen die Frage, ob die akzeptablen Minderungskosten oder die anzustrebenden Anteile dieser Techniken besser bekannt sind.

ches System kann bei entsprechender Ausgestaltung zu ähnlichen Ergebnissen führen wie ein Quotenmodell.

Internationale Einbettung der Förderpolitik

Ebenso wie bei allgemeinen Maßnahmen zum Klimaschutz ist bei einer speziellen Förderung erneuerbarer Energien die Einbettung nationaler Politik in den internationalen Rahmen zu beachten. Bei den allgemeinen Instrumenten geht es dabei u.a. um die internationale Harmonisierung von Energiesteuern, insbesondere in der Europäischen Union, den beginnenden EU-Emissionshandel sowie die Verknüpfung mit Instrumenten des Kyoto-Protokolls (internationaler Emissionshandel, CDM, JI). Die zunehmende Internationalisierung soll vor allem die Flexibilität beim Klimaschutz erhöhen, um dem ökonomischen Prinzip folgend die Zusatzkosten gering zu halten. Dies erfordert, dass sich die marginalen Vermeidungskosten nicht nur auf nationaler Ebene sondern auch international annähern. Während sich die internationale Flexibilität durch solche Instrumente erhöht, kann sich allerdings zugleich der Gestaltungsspielraum für nationale Politik einengen. Diese Tendenzen treffen generell auch auf die Förderung erneuerbarer Energien zu. Im Folgenden werden einige Aspekte der Internationalisierung in diesem Bereich skizziert.

Ein Aspekt der Internationalisierung betrifft Optionen für einen Import erneuerbarer Energien, z.B. Import von Bioenergien oder von Strom oder Wasserstoff aus Regionen mit großen Potenzialen an Sonnenenergie, Windenergie oder Wasserkraft. Dadurch können erneuerbare Energien unter Umständen kostengünstiger als bei einer Erzeugung im Inland genutzt werden, wobei allerdings beträchtliche Transportkosten und ggf. zusätzliche Kosten für Umwandlung und Speicherung anfallen können. Ein solcher physischer Transport und die Einbindung von Energieimporten in das inländische Energiesystem sind hingegen verzichtbar, wenn stattdessen internationale Ausgleichs- bzw. Anerkennungssysteme genutzt werden. Erneuerbare Energien könnten dann zunächst stärker für die geografisch nähere Versorgung, insbesondere im Herkunftsland, genutzt werden und darüber hinaus für den *allgemeinen* internationalen Verbund.

In diesem Zusammenhang ist ebenso die internationale Kooperation bei Forschung und Entwicklung zu nennen sowie die internationale finanzielle und technische Zusammenarbeit beim Technologietransfer, der zum Teil mit Maßnahmen zur Exportförderung verbunden werden kann.

Auch die Förderung der inländischen Nutzung von erneuerbaren Energien muss künftig stärker international abgestimmt werden. Dabei geht es zum einen um Fragen der Kompatibilität mit europäischen Binnenmärkten und internationalen Handelsregeln, was z.B. eine Herkunfts-Zertifizierung von grünem Strom erfordert, und zum anderen um die Frage, inwieweit die nationalen Förderinstrumentarien selbst künftig harmonisiert oder gar durch einen Gemeinschaftsrahmen festgelegt werden soll.

In der EU-Richtlinie zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien wird die Instrumentenwahl zwar bisher noch den Mitgliedsstaaten überlassen, es wird dort aber explizit bereits die Frage nach der Notwendigkeit eines künftigen Gemeinschaftsrahmens für die Förderung von Strom aus erneuerbaren Energien gestellt. Dabei kämen sowohl gemeinsame preispolitische Instrumente (Mindestvergütung, Bonus) als auch gemeinsame mengenpolitische Instrumente (handelbare Quoten) in Betracht, wobei letztere von der Europäischen Kommission offensichtlich präferiert werden.

Unabhängig von der Wahl der Instrumentenart könnten sich dabei einheitliche Differenzierungen zwischen Techniken bzw. Anwendungsbereichen als schwieriger erweisen als auf nationaler Ebene, da sich die Kosten und Potenziale von Land zu Land stärker unterscheiden als innerhalb eines Landes. Dies gilt auch für die Frage, welche Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen in ein solches Gemeinschaftssystem einbezogen werden sollen. Als Alternative zu einer gezielten, nach Techniken differenzierten Förderung könnte in einem künftigen System auf sämtliche Differenzierungen verzichtet werden; hiermit verbundene Mitnahmeeffekte würden dann bewusst in Kauf genommen werden. Ein solches System könnte entweder durch allgemeine Bonussätze mit Umlagesystem oder durch handelbare Quoten realisiert werden. Die Auswirkungen solcher Systeme auf Effizienz und Verteilungseffekte sind bisher noch wenig erforscht. Sie dürften u.a. vor allem davon abhängen, ob solche Systeme jeweils national oder unmittelbar EU-weit implementiert werden.

Ein internationaler Handel mit grünen Zertifikaten in einem europäischen Quotensystem setzt neben Herkunftsnachweisen der Energieerzeugung insbesondere voraus, dass politisch Mengenvorgaben in Form von Quoten gemacht werden. Wenn hierbei keine Differenzierung nach Mitgliedstaaten erfolgen würde, müssten Länder mit ungünstigen Voraussetzungen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Ergebnis relativ viele Zertifikate importieren, wodurch hohe Verteilungseffekte zwischen Ländern entstünden. Um dies zu vermeiden könnten verbindliche national differenzierte Quoten vorgegeben werden. Eine Einigung über solche Aufteilun-

gen dürfte allerdings politisch schwieriger sein als eine lediglich indikative Orientierung an Richtzielen (gemäß der EU-Richtlinie zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien).

Solche Systeme müssten so ausgestaltet werden, dass sie auch mit einem europäischen bzw. internationalen Emissionshandel und mit den projektbasierten Kyoto-Instrumenten vereinbar sind, wobei insbesondere Doppelanrechnungen zu vermeiden sind. Obwohl diese allgemeinen internationalen Instrumente zum Klimaschutz bisher selbst noch nicht hinreichend konkretisiert sind, kann davon ausgegangen werden, dass eine komplementäre Anwendung allgemeiner und spezieller Instrumente auch auf internationaler Ebene grundsätzlich möglich sein wird.

Kombination von Maßnahmen

Die meisten der oben genannten Maßnahmen stellen keine sich gegenseitig ausschließenden Alternativen dar, sondern können vielmehr - ähnlich wie bisher - miteinander kombiniert werden. Für eine Kombination unterschiedlicher Maßnahmen spricht auch künftig generell, dass dabei einzelne Maßnahmen nicht extrem hoch dosiert sein müssen. Ohne weitere Instrumente müsste etwa eine allgemeine Energie- oder Emissionssteuer schon gegenwärtig sehr hoch ausfallen, um mit ihrer Hilfe die mittel- und längerfristigen Klimaschutzziele zu erreichen. Dabei müssten erneuerbare Energien durch eine Primärenergiesteuer oder durch Steuerbefreiung ausgenommen werden. Auch ein Emissionshandel würde allein nicht ausreichen, solange mit ihm nicht eine umfassende Begrenzung aller Emissionen erreicht werden kann. Außerdem können sich gezielte Maßnahmenwirkungen im Hinblick auf die Überwindung unterschiedlicher Hemmnisse ergänzen. Dabei sind nicht zuletzt auch der jeweilige technische Entwicklungstand der Anwendungssysteme und deren Marktreife zu beachten. Als sich ergänzende Politiken sind nach wie vor Maßnahmen zur Forschung und Entwicklung, zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit und Marktdurchdringung sowie zur Beseitigung von institutionellen Hemmnissen und zur Verbesserung der Information und Ausbildung zu betrachten. Aber auch innerhalb des Bereichs der finanziellen Förderung der Markteinführung sind weiterhin Maßnahmenkombinationen sinnvoll, die neben preis- oder mengenregulierenden Eingriffen (insbesondere im Strombereich) auch staatliche Finanzhilfen und Ausschreibungsverfahren (insbesondere im Wärmebereich) umfassen und gleichzeitig Spielraum für weitere, private Initiativen lassen.

Literatur zu Kapitel 5.9

BMU (2003): Erneuerbare Energien in Zahlen - nationale und internationale Entwicklung. Stand: November 2003.

Berry, T., Jaccard, M. (2001): The renewable portfolio standard: design considerations and an implementation survey. In: Energy Policy 29 (2001) 263-277.

DIW u.a. (2001): Energiewirtschaftliche Voraussetzungen und energiepolitische Handlungsmöglichkeiten für eine zukünftige Energieentwicklung in Deutschland. Wissenschaftliche Begleitung des Energiedialogs 2000. DIW Berlin in Kooperation mit EWI, Fh-ISI, Öko-Istitut, Prognos, WI. Berlin, Februar 2001.

DIW, PIK (2003): German Energy Policy Instruments and WTO Law. Working Paper. Berlin, April 2003.

Drillisch, J. (1999): Quotenregelung für regenerative Stromerzeugung. In: ZfE 4/99, S. 251-274.

Drillisch, J., Schulz, W., Starrmann, F. (2000): Charakterisierung und Bewertung verschiedener In-strumente zur Förderung erneuerbarer Energien und der Kraft-Wärme Kopplung. Kurzexpertise im Auftrag des BMWi. Köln, 8. Februar 2000.

DLR, WI, ZSW, IWR, Forum (1999): Klimaschutz durch Nutzung erneuerbarer Energien. Studie im Auftrag des BMU und des /UBA. Bonn, Münster, Stuttgart, Wuppertal, Oktober 1999.

Enquete-Kommission (2002): Bericht der Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“ des 14. Deutschen Bundestages. Bundestagsdrucksache 14/9400 vom 7.7.2002.

Ewringmann, D., Linscheidt, B. (1999): Vorbereitung weiterer Phasen der ökologischen Steuerreform: Die Fortentwicklung der Stromsteuer. Studie im Auftrag des BMU. Finanzwissenschaftliches Forschungsinstitut an der Universität zu Köln, November 1999.

EU (2001): Richtlinie 2001/77/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. September 2001 zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 283/33 vom 27.10.2001.

Fischedick, M. (1999): Kurzexpertise zur Wirksamkeit verschiedener Instrumente zur Förderung erneuerbarer Energien. Wuppertal, Dezember 1999.

Graehl, S. u.a. (2001): Eine Analyse des Marktes für grüne Angebote in Deutschland. In: Zeitschrift für Energiewirtschaft 4/2001, S. 221-230.

Harmelink, M. et al. (2002): PRETIR. Implementation of Renewable Energy in the European Union until 2010. Project executed by Ecofys, 3E and Fh-ISI within the framework of the ALTENER Programme of the European Commission, DG Transport and Energy.

IEA (1997): Renewable Energy Policy in IEA Countries. Vol. I: Overview. Paris 1997.

IEA (1998): Renewable Energy Policy in IEA Countries. Vol. II: Country Reports. Paris 1998.

IER, WI, Prognos (2002): Szenarienerstellung. Bericht für die Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“ des 14. Deutschen Bundestages. Berlin, Juni 2002.

Langniß, O., Markart, J. (1999): Grüner Strom und staatliche Förderung: Eine Analyse der Wechselwirkungen. In: ZfE 4/99, S. 275-284.

Linscheidt, B., Truger, A. (2000): Ökologische Steuerreform: Ein Plädoyer für die Stärkung der Len-kungsanreize. In: Wirtschaftsdienst 2000/II, S. 98-106.

Menanteau, P., Finon, D., Lamy, M.-L. (2003): Prices versus quantities: choosing policies for promoting the development of renewable energy. Energy Policy 31 (2003) 799-812.

Meyer, B. (2000): Befreiung der erneuerbaren Energieträger von der Stromsteuer – Gründe, Chancen, Fragen, Probleme. Kiel, 13.2.2000.

Meyer, N.I. (2003): European schemes for promoting renewables in liberalised markets. In: Energy Policy 31 (2003) 665-676).

Midttun, A. (ed.) (2003): Trade based greening in European electricity markets. Energy Policy. Special issue. Vol. 31, No. 7, June 2003.

Morthorst, P.E., Skytte, Fristrup, P. (ed.) (2003): Green certificates and emission trading. Energy Policy. Special issue. Vol. 31, No. 1, January 2003.

Morthorst, P.E. A green certificate market combined with a liberalised power market. Energy Policy 31 (2003) 1393-1402.

Nast, M., Nitsch, J., Staiß, F. (2000): Quoten für erneuerbare Energien im Wärmemarkt. In: Euroheat & Power - Fernwärme international 4/2000 28-35.

Prognos, EWI (1999): Die längerfristige Entwicklung der Energiemärkte im Zeichen von Wettbewerb und Umwelt. Basel, Oktober 1999.

Prognos (1998/99): Möglichkeiten der Marktanreizförderung für erneuerbare Energien auf Bundesebene unter Berücksichtigung veränderter wirtschaftlicher Rahmenbedingungen. Untersuchung im Auftrag des BMWi. Langfassung: Berlin. Dezember 1998. Kurzfassung: Berlin, März 1999.

Reiche, D., Körner, S. (2002): Erklärungsfaktoren für Erfolg und Misserfolg bei der Nutzung erneuerbarer Energien in den Mitgliedsstaaten der Europäischen Union. In: Zeitschrift für Energiewirtschaft 4/2002, S. 275-282.

Rentz, O. u.a. (1999): Instrumente zur Förderung der Nutzung regenerativer Energieträger im liberalisierten Strommarkt. Studie im Auftrag des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag. Karlsruhe, Dezember 1999.

Schaeffer, G.J. et al. (2000): Options for design of tradable green certificates systems. ECN-C--00-032.

Schaeffer, G.J. (ed.) (2002): A renewable mandatory market share for China. Lessons from the Dutch Experience. The Dutch Expert Group on Tradable Green Certificates. ECN-C--2-049.

Timpe, Chr. u.a. (2001): Umsetzungsaspekte eines Quotenmodells für Strom aus erneuerbaren Energien. Abschlussbericht im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg. Freiburg, Stuttgart, Heidelberg 2001.

WI, DLR (2002): Langfristszenarien für eine nachhaltige Energienutzung in Deutschland. Untersuchung des Wuppertal Instituts für Klima Umwelt und Energie und der DLR, Institut für Thermodynamik, im Auftrag des Umweltbundesamtes. Projektleitung: M. Fischediek, J. Nitsch. Redaktion: H. Kaschenz. Forschungsbericht 200 97 104. Climate Change, hrsg. vom Umweltbundesamt. Berlin, Juni 2002.

Wietschel, M., Fichtner, W., Rentz, O. (2002): Regenerative Energieträger. Der Beitrag und die Förderung regenerativer Energieträger im Rahmen einer Nachhaltigen Energieversorgung. Ecomed 2002.

5.10 Nicht-energiebedingte Treibhausgasemissionen

5.10.1 Nicht-CO_2–Treibhausgasemissionen (Fraunhofer ISI)

Mit den in Abschnitt 3.10.1 beschriebenen Maßnahmen zur Minderung der Nicht-CO_2-Treibhausgase ergeben sich bis zum Jahr 2010 Minderungen der jährlichen Emissionen in Höhe von rund 33 Mio. t CO_2-Äquivalent. Damit und mit der Wirkung der schon vor 1998 beschlossenen Maßnahmen sowie von autonomen Trends würden die Emissionen von Nicht-CO_2-Treibhausgasen dann bei insgesamt 141 Mio. t CO_2-Äquivalent liegen. Da mit den Reduktionsszenarien keine Aussagen zu den Nicht-CO_2-Treibhausgasen verbunden sind, wird deren Emissionsentwicklung davon unabhängig im Folgenden in einem eigenständigen *Mit-Maßnahmen-Szenario* bis zum Jahr 2030 geschätzt (Tabelle 5.10-1).

Für die längerfristige Entwicklung von CH_4 und N_20 wurde auf Schätzungen bis zum Jahr 2020 aus vorhergehenden und im Rahmen weiterer Forschungsvorhaben aktualisierten Politikszenarien-Analysen (Schön et al. 1997 und 2000) zurückgegriffen und die Fortsetzung der wesentlichen Trends in den einzelnen Sektoren bis zum Jahr 2030 unterstellt.

Die Szenarien für die F-Gase (bis 2020) wurden aus dem Zwischenbericht eines Forschungsvorhabens der Öko-Recherche GmbH vom März 2003 (Schwarz 2003) übernommen. Diese stellen nach Angabe des Umweltbundesamtes (UBA 2004) auch ein Jahr nach Zwischenberichtserstellung noch die aktuellsten verfügbaren Abschätzungen dar. Die in Abschnitt 3.10.1.2.3 dokumentierte aktuelle Einschätzung des Umweltbundesamtes zur Wirksamkeit der Maßnahmen in diesem Bereich fanden darin allerdings noch keine Berücksichtigung. Vereinfachend wurden die Werte für 2020 auch auf den Zeithorizont 2030 übertragen.

Eine weitere Verringerung der Nicht-CO_2-Treibhausgasemissionen lässt sich durch eine Reihe von Maßnahmen im Bereich der *Landwirtschaft* erreichen (siehe auch Abschnitt 3.10.1.2.2). Auf Grund agrarpolitischer Entwicklungen ist zukünftig mit einem weiteren Rückgang der Tierbestände (insbesondere der Milchviehbestände) und somit mit einer Reduktion der CH_4-Emissionen aus der Pansenfermentation zu rechnen. Die Reduzierung der *CH_4-Emissionen* aus der Landwirtschaft dürfte ferner durch eine weitere Steigerung der Biogaserzeugung möglich sein. In den rechnerischen Abschätzungen der FAL zum möglichen Emissionsminderungsbeitrag der Biogasnutzung bis 2010, die in die Abschätzung zum *Mit-Maßnahmen-Szenario* einflossen, wurde entsprechend dem nationalen Klimaschutzprogramm eine Steigerung der in Biogasanlagen verwerteten Gülle-Einsatzmengen von derzeit rund 5 %

auf 14 % unterstellt. Eine Steigerung auf 30 % oder mehr ist grundsätzlich denkbar, wobei auch die Bündelung von Behandlungskapazitäten in größeren Anlagen in Frage kommt (Osterburg 2003 a und b). Daraus würde ein Emissionsminderungsbeitrag von rund 2,5 Mio. t CO_2-Äquivalent im Jahr 2030 resultieren (vgl. Tabelle 5.10-2).

Tabelle 5.10-1 Entwicklung der Nicht-CO_2-Treibhausgasemissionen im *Mit-Maßnahmen-Szenario* bis zum Jahr 2030
in Mio. t CO_2-Äquivalent

Emissionen	2000	2005	2010	2020	2030
CH_4	86,5	74,2	70,4	65,3	64,9
N_2O	55,8	55,0	54,6	54,0	54,2
H-FKW	6,6	10,6	11,8	12,8	12,8
FKW	0,8	0,7	0,6	0, 6	0, 6
SF_6	4,0	2,7	3,5	5,1	5,1
Summe	153,8	143,1	140,8	137,9	137,6

Generell kann konstatiert werden, dass die Reduzierung der *N_2O-Emissionen* durch unterschiedliche Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz (Vermeidung von N-Bilanz-Überschüssen) möglich und notwendig ist (Osterburg 2003 a). Indes lassen sich quantitative Abschätzungen zur Wirkung einzelner Maßnahmen mit dem Zeithorizont 2030 in Anbetracht der schwer abschätzbaren Entwicklung der landwirtschaftlichen Produktionsweisen und -mengen nur schwerlich treffen. Dies betrifft neben dem Effekt einer Ausweitung des Ökologischen Landbaus auch die Auswirkungen denkbarer Tierbestandsverringerungen.

Beim Ökologischen Landbau wurde bereits im *Mit-Maßnahmen-Szenario* eine Ausweitung auf 20 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche bis zum Jahr 2010 unterstellt. Dieser Prozentsatz entspricht der politischen Zielsetzung und wurde von der FAL auf Wunsch des BMVEL zu Grunde gelegt, ohne dass dabei analysiert wurde, ob dieses Ziel realistisch ist. (Osterburg 2003 a und 2003 b; vgl. Abschnitt 3.10.1.2). Quantitative Annahmen zur möglichen weiteren Steigerung dieses Anteils wären rein spekulativ und möglicherweise auch als zu optimistisch zu betrachten. So wurde im Rahmen einer Synthese der vorliegenden Studien zur Entwicklung der Landwirtschaft in Deutschland bis zum Jahr 2030 (Knickel 2002) eine Fortsetzung der moderaten Zuwachsraten der 80er Jahre unterstellt, was bis zum Jahr 2010 einen Anteil von nur etwas über 10 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche bedeuten würde. In Tabelle

5.10-3 wurde daher der nicht quantifizierbare mögliche Beitrag weiterer Maßnahmen zur Verringerung der N_2O-Emissionen aus dem Bereich der Landwirtschaft durch weitergehende Maßnahmen mit „x“ ausgewiesen.

Eine Reihe von weiter gehenden Maßnahmen zur Emissionsminderung bei *„F-Gasen“* wird im Entwurf zum Bericht der IMA CO_2-Reduktion umrissen (UBA 2003). Darin sind die Minderungspotenziale mit den Zeithorizonten 2010 und 2020 ausgewiesen. Da es sich weitgehend um Substitutionsmaßnahmen, bei denen die betreffenden Substanzen in den jeweiligen Anwendungen bis spätestens 2020 vollständig substituiert sein werden, bzw. um Verzicht auf Ausweitung der Anwendung handelt, wurden die Werte Tabelle 5.10-3 für 2020 auch auf den Zeithorizont 2030 übertragen.

Wie bereits im Jahr 2000 gibt es weiterhin Aktivitäten, *H-FKW* vermehrt auch in anderen Einsatzbereichen, z. B. als *Feuerlöschmittel* einzusetzen. Diese Entwicklung muss mit Sorge betrachtet werden. Gerade in der Brandbekämpfung werden H-FKW als nicht erforderlich angesehen, da erprobte Alternativen zur Verfügung stehen. Langfristig ist daher auch die Substitution von H-FKW-227, dem einzigen bisher eingesetzten H-FKW-Löschmittel, anzustreben. Hierbei bleibt allerdings die Entwicklung zu neuen Ersatzstoffen abzuwarten, die ggf. ohne große Umbauten in bestehenden Anlagen eingesetzt werden können.

Bei *technischen*, aber auch bei *medizinischen Aerosolen* muss unter Gewährleistung der Patientenversorgung langfristig (bis zum Jahr 2010 respektive 2020) eine schrittweise Umstellung auf andere Treibgase oder Austragungstechniken erfolgen. Der Einsatz von H-FKW in offenen Anwendungen ist nicht tragbar.

Technisch erscheint der Einsatz von H-FKW bereits heute nur in Ausnahmefällen (z. B. zur Substitution von HFCKW bei Gießschäumen) erforderlich. Eine in der Praxis relevante, verbesserte Treibhausgas-Gesamtbilanz (Energieeinsparung und Treibmittelemissionen) durch *H-FKW geschäumte Dämmstoffe* (diese haben leicht verbesserte Wärmedämmeigenschaften) konnte bisher nicht nachgewiesen werden. Der Einsatz von H-FKW ist daher auch in dieser offenen Anwendung nicht tragbar und ist langfristig vollständig zu vermeiden.

In der Abschätzung gemäß Tabelle 5.10-2 wurde daher die Annahme getroffen, dass im Jahr 2010 nur noch 20 % des *XPS-Schaums* mit H-FKW geschäumt werden und dann schrittweise

bis zum Jahr 2020 vollständig auf HFKW verzichtet wird. Bei *PU-Schaum* erfolgt je nach Anwendung ein gestaffelter Ausstieg aus den HFKW bis zum Jahr 2015.

Bei *PU-Montageschäumen* ist ein Ersatz von H-FKW als Treibmittel durch Propan/Butan in Kombination mit Dimethylether (DME) möglich. Da Propan/Butan und DME brennbar sind, können diese in Bereichen, in denen mit brennbaren Treibmitteln nicht umgegangen werden kann (etwa 5-10 % der Anwendungen), nicht eingesetzt werden. Hier ist langfristig (ab 2010) auf alternative Austragungstechniken zurückzugreifen, deren Weiterentwicklung von der Industrie forciert werden muss.

Bei der Prüfung zusätzlicher Maßnahmen zur Minderung der Emissionen von *perfluorierten Verbindungen (FKW)* müssen neben derzeit emissionsrelevanten Anwendungsbereichen insbesondere auch Aktivitäten betrachtet werden, die auf den zukünftigen Einsatz von FKW in weiteren Einsatzbereichen (z. B. Oberflächenreinigung, Feuerlöschmittel) zielen.

Die *SF_6-Emissionen aus elektrischen Betriebsmitteln* bleiben voraussichtlich auch ohne weitere Maßnahmen weitgehend konstant. Vor diesem Hintergrund scheinen zunächst keine weiteren Maßnahmen erforderlich. Jedoch basieren die Prognosen, wie bereits dargelegt, auf einer Reihe von Annahmen. Auch ist der Zuwachs an installierten Mengen (potenziellen Emissionen) ein Kriterium für die Notwendigkeit von möglichen Maßnahmen. Für die Implementierung von Maßnahmen, die zu einer Entlastung der Umwelt führen, ist insbesondere die technische und/oder ökonomische Machbarkeit ein Kriterium. Im Bereich der elektrischen Betriebsmittel gibt es derzeit einen intensiven Diskussionsprozess mit der Wirtschaft zu diesen Fragestellungen. Eine diskutierte Maßnahme ist die Beschränkung des Einsatzes von SF_6 im unteren Spannungsbereich (bis 36 kV) auf das technisch und ökonomisch zwingend erforderliche Maß.

Die Angaben in Tabelle 5.10-3 zur Entwicklung der Nicht-CO_2-Treibhausgasemissionen im *Mit-weiteren Maßnahmen-Szenario* bis zum Jahr 2030 basieren für CH_4 und N_2O auf den Ergebnissen der Wirkungsanalyse der oben dargestellten weiteren Maßnahmen. Für die F-Gase wurden wiederum die Szenarienwerte des Forschungsvorhabens der Öko-Recherche GmbH vom März 2003 (Schwarz 2003) für das darin dargestellte „Mit-weiteren-Maßnahmen-

Szenario“ übernommen[154]. Auch hier blieb die aktuelle Einschätzung des Umweltbundesamtes zur Wirksamkeit der Maßnahmen noch ohne Berücksichtigung. Die Angaben für 2030 beruhen auf einer Einschätzung des Trends durch das Umweltbundesamt (2003).

Tabelle 5.10-2 Effekt weiterer Maßnahmen zur Emissionsminderung von Nicht-CO_2-Treibhausgasen in 2010 / 2020 / 2030

Bezeichnung der Maßnahme	**erwarteter Effekt (Minderungspotenzial) in 2010 / 2020 /2030 in Mio. t CO_2-Äquivalent**
Landwirtschaft: Ausweitung Biogasnutzung	0 / 1,25 / 2,5
Landwirtschaft: Weitergehende Steigerung der N-Effizienz	„x“
PU-Schaumprodukte: Weitgehender Verzicht auf H-FKW bis zum Jahr 2008, vollständiger Verzicht bis zum Jahr 2015	0,1 / 0,25 / 0,25
XPS-Hartschäume: Weitgehender Verzicht auf H-FKW bis zum Jahr 2010, vollständiger Verzicht bis zum Jahr 2020	0,7 / 1,0 / 1,0
PU-Montageschäume: Weitgehender Verzicht auf H-FKW bis zum Jahr 2005, vollständiger Verzicht bis zum Jahr 2010 (Substitution, alternative Austragungstechniken)	0,6 / 0,6 / 0,6
Technische Aerosole: Vollständiger Verzicht auf H-FKW (Substitution, alternative Austragungstechniken)	0,2 / 0,2 / 0,2
Dosieraerosole: Vollständiger Verzicht auf H-FKW, sofern Patientenversorgung gewährleistet werden kann	0,2 / 0,5 / 0,5
Feuerlöschmittel: Verzicht auf Einführung weiterer H-FKW	0,01 / 0,01 / 0,01
Elektrische Betriebsmittel: Regulierung oder erweiterte Selbstverpflichtung in der Diskussion; Selbstverpflichtung deutscher Schaltanlagenhersteller, -nutzer und SF_6-Produzenten zu Emissionsbegrenzungs-Maßnahmen	0,013 / 0,013 / 0,013
Gesamteffekt	**1,8 / 3,8 / 5,1**

[154] Im Entwurf des vorliegenden Berichts fanden sich an dieser Stelle Szenarienergebnisse, die ebenfalls aus der Wirkungsabschätzung für die oben aufgeführten weiteren Maßnahmen im Bereich der F-Gase abgeleitet waren. Eine Beibehaltung dieser Zahlen wäre aber nach Vorliegen der wesentlich detaillierteren Ergebnisse der Öko-Recherche GmbH (dem FhG-ISI im Dezember 2003 übermittelt) nicht mehr zu vertreten gewesen.

Tabelle 5.10-3 Entwicklung der Nicht-CO_2-Treibhausgasemissionen im *Mit-weiteren Maßnahmen-Szenario* bis zum Jahr 2030
in Mio. t CO_2-Äquivalent

Emissionen	2000	2005	2010	2020	2030
CH_4	86,5	74,2	70,4	64,1	62,4
N_2O	55,8	55,0	54,6-x	54,0-x	54,2-x
H-FKW	6,6	9,6	9,5	5,0	<5
FKW	0,8	0,7	0,5	0, 4	<0,4
SF_6	4,0	2,7	2,9	4,4	<4,4
Summe	153,8	142,2	137,9-x	128,0-x	<126,5-x

5.10.2 Nicht-energiebedingte CO_2–Emissionen (Öko-Institut)

Die weitere politische Einflussnahme auf die Entwicklung der nicht-energiebedingten CO_2-Emissionen ergibt sich einerseits über indirekte Wirkungen anderer Maßnahmen, die sich auf die Produktionsvolumina der jeweiligen Produkte (Stickstoffeinsatz, Hüttenaluminium, Glas etc.) auswirken. Die Palette der möglichen Maßnahmen reicht hier von Stickstoffabgaben bis zu abfallrechtliche Maßnahmen, die zur Stärkung des Recycling, z.B. im Baubereich führen.

Zweitens kann auch weiterhin der Absatz von Zement mit höheren Substitutanteilen erhöht und der Scherbeneinsatz bei der Glasproduktion ausgeweitet werden. Für beide Handlungsoptionen wird das EU-Emissionshandelssystem ökonomische Anreize setzen, die jedoch durch flankierende Maßnahmen ergänzt werden sollten. Bezüglich des Zementabsatzes können Maßnahmen zur Marktakzeptanz von Zementen mit höheren Substitutanteilen ergriffen werden, aber auch abfallrechtliche Vorschriften zur besseren Verwertbarkeit von Hochofenschlacke könnten einen flankierenden Beitrag leisten. Für den Einsatz von Recyclingglas kommt vor allem einer Weiterentwicklung der abfallrechtlichen Vorschriften, die insbesondere auch auf eine verbesserte Sortenreinheit des erfassten Altglases abstellen, eine besondere Bedeutung zu.

Eine quantitative Abschätzung der Instrumentenwirkung ist nur für die Effekte der letztgenannten Maßnahmenbündel (Emissionshandel und flankierende Instrumente) möglich.

Tabelle 5.10-4 zeigt die Entwicklung der nicht-energiebedingten CO_2-Emissionen für das Mit-Maßnahmen-Szenario und das Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario im Vergleich.

Tabelle 5.10-4 Entwicklung der nicht-energiebedingten CO_2-Emissionen nach Quellbereichen, Mit-Maßnahmen-Szenario und Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario, 1990 bis 2030

	Ist-Entwicklung		Mit-Maßnahmen-Szenario (= Referenzszenario)			Mit-weiteren-Maßnahmen Szenario		
	1990	2000	2010	2020	2030	2010	2020	2030
	Mio. t CO_2							
Zementklinker	16,15	15,64	14,30	14,99	14,55	14,12	12,91	11,47
Kalk	6,42	5,84	5,55	5,23	4,82	5,55	5,23	4,82
Synthese-Ammoniak	1,75	1,82	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80
Glas	1,21	1,50	1,40	1,57	1,58	1,38	1,33	1,27
Hüttenaluminium	0,90	0,79	0,80	0,25	0,00	0,80	0,25	0,00
Soda	0,74	0,54	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
Calciumcarbid	0,44	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Summe	27,61	26,14	24,41	24,39	23,31	24,22	22,08	19,92

Quelle: Umweltbundesamt

Angesichts der in jüngster Zeit ergriffenen Instrumenten im Bereich der Abfallwirtschaft und der relativ langen Vorlaufzeit für eine Weiterentwicklung sind die Wirkungen für den Zeithorizont 2010 sehr begrenzt, können aber in der längeren Perspektive durchaus merkliche Effekte entfalten (ca. 3,4 Mio. t zusätzliche Emissionsminderung). Im Bereich Zement und Glas dürften mit einem solchen zusätzlichen Minderungsbeitrag die Minderungspotenziale im Bereich der Prozesse weitgehend erschlossen worden sein, in der längeren Perspektive können signifikante Zusatzeffekte nur noch aus den indirekten Wirkung von stoffstromorientierten Maßnahmen erwartet werden, die zur Minderung des jeweiligen Materialdurchsatzes bzw. zur Verringerung der Primärproduktion (z.B. bei Aluminium) führen.

Literatur zu Kapitel 5.10

Knickel, K. (2002): Nachhaltige Nahrungsmittelproduktion: Szenarien und Prognosen für die Landwirtschaft bis 2030 - Handlungsbedarf und Langfriststrategien für die Umweltpolitik. Untersuchung im Auftrag des Umweltbundesamtes. Umweltbundesamt (Hrsg.): Texte 18/02, Berlin

Osterburg, B. (Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft) (2003a): Persönliche Mitteilung. Braunschweig

Osterburg, B. (2003b): Rechnerische Abschätzung der Klimagasemissionen aus der Landwirtschaft in Deutschland im Jahr 2010. Studie im Auftrag des BMVEL. Braunschweig

Schön, M. et al. (1997): Politikszenarien für den Klimaschutz, Band 2: Emissionsminderungsmaßnahmen für Treibhausgase, ausgenommen energiebedingtes CO_2, Hrsg:. G. Stein und B. Strobel, Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt, Jülich

Schön, M. et al. (2000): Informationsgrundlage für das Umweltpräsentationssystem des BMU „Umwelt 2000 im Rahmen des Teilvorhabens 2 des Globalansatzes Expo 2000“. Studie und Datensammlung des Fraunhofer-Instituts für Systemtechnik und Innovationsforschung (Federführung), des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung, des ifeu-Instituts für Energie- und Umweltforschung sowie des Forschungsinstituts für anwendungsorientierte Wissensverarbeitung im Auftrag des Umweltbundesamtes. Studie: FhG-ISI-Bericht, Karlsruhe/ Berlin/ Heidelberg/ Ulm 2000; Datenanhang: UBA-Texte 61/01, Umweltbundesamt Berlin 2002 (CD-ROM)

Schwarz, W. (2003): Emissionen und Emissionsprognose von HFKW, FKW und SF_6 in Deutschland – Aktueller Stand und Entwicklung eines Systems zur jährlichen Ermittlung. Laufende Untersuchung der Öko-Recherche GmbH im Auftrag des Umweltbundesamtes. Interne Informationen und Zwischenbericht März 2003

UBA (Umweltbundesamt) (2003): Interne Informationen zum IMA-CO2-Bericht 2003: Entwurf Kapitel VII „Fluorierte Klimagase“ und „Kurze Darstellung der den Emissionsszenarien zu Grunde liegenden Annahmen“; ferner Kommentare des Umweltbundesamtes zum Endberichtsentwurf, Berlin

UBA (Umweltbundesamt) (2004): Persönliche Mitteilungen zur Studie der ÖkoRecherche GmbH (Schwarz 2003; s. o.)

6 Internationaler Emissionsrechte- und Emissionsgutschriftenhandel als klimaschutzpolitische Maßnahme (Fraunhofer ISI)

6.1 Vorbemerkungen

In den bisherigen Ausführungen stand eine rein national ausgerichtete Klimapolitik mit der Erreichung von nationalen Reduktionszielen durch Maßnahmen in Deutschland im Fokus der Betrachtung. Die internationalen Vereinbarungen zur Klimavorsorge bieten allerdings die Option, dass Maßnahmen, die im Ausland durchgeführt werden, auf nationale Klimaschutzziele angerechnet werden können. Diese Ansätze werden im folgenden Kapitel thematisiert. Es wird eine Übersicht über die verschiedenen Instrumente gegeben und dann eine Einordnung ihrer möglichen Auswirkungen für Deutschland vorgenommen.

Weiterhin werden in diesem Kapitel auch die Senken als mögliche Optionen zur Minderung des Treibhauseffektes thematisiert, weil diese im Rahmen der internationalen Vereinbarungen eine besondere Rolle einnehmen.

6.2 Einleitung: Emissionsrechtehandel unter Baseline-and-Credit und Cap-and-Trade Systemen

Handelbare Emissionsrechte sind marktwirtschaftliche, eigenständige Instrumente, wobei sich prinzipiell zwei Arten von Systemen unterscheiden lassen: so genannte *Baseline-and-Credit Systeme* sowie *Cap-and-Trade Systeme*. Beim Baseline-and-Credit System werden Unternehmen verpflichtet, Rechte zu halten für die Differenz zwischen den tatsächlich ausgestoßenen zukünftigen Emissionen und den Emissionen, die bei einer vorher festgelegten *Baseline* angefallen wären. Unternehmen, die mehr Rechte zur Verfügung haben, können diese an Unternehmen in Unterdeckung verkaufen. In diesem System werden also Gutschriften (Credits) gehandelt, die durch zusätzliche emissionsmindernde Projekte gegenüber der Baseline erzeugt werden. Daher wird dieser Ansatz auch als projektbasierter Ansatz bezeichnet bzw. als ein Emissionsgutschriftenhandel.

Um Emissionsgutschriften zu erhalten, ist die Verifizierung der Reduktionen notwendig. Emissionsgutschriften werden zur Flexibilisierung von anderen umweltpolitischen Maßnahmen (z. B. aus dem Ordnungsrecht) eingesetzt, um Kostenunterschiede, die auf betriebsinterner, regionaler, nationaler oder internationaler Ebene existieren, auszunutzen und damit umweltpolitische Ziele ökonomisch effizienter zu verwirklichen. Da die Baselines in der Regel in

Form von spezifischen Zielen (t CO_2 pro t Output) formuliert werden, lässt sich die insgesamt ausgestoßene Menge an Emissionen allerdings nicht kontrollieren.

Beim Cap-and-Trade System wird hingegen eine global fixierte Emissionsmenge eines spezifischen Schadstoffes verbrieft, gestückelt und nach bestimmten Schlüsseln auf die Beteiligten verteilt. Beim Cap-and-Trade Emissionsrechtehandel wird demnach für das gesamte Handelssystem sowie für die Beteiligten eine Menge an "erlaubten" Gesamtemissionen festgelegt.

Diese Menge wird im Rahmen der so genannten Primärallokation auf die Verpflichteten im Emissionsrechtehandelssystem verteilt. Diese müssen dann am Ende einer Periode für jede emittierte t CO_2 ein Emissionsrecht vorweisen. Entscheidend dabei ist, dass Unternehmen über ihre anfangs zugeteilte Menge hinaus emittieren dürfen, wenn sie eine entsprechende Anzahl an Emissionsrechten von anderen Unternehmen, die unter ihrem Limit bleiben, erwerben. Unternehmen mit hohen Vermeidungskosten können also bei Bedarf Emissionsrechte hinzukaufen und Emittenten mit niedrigen Vermeidungskosten können Rechte verkaufen. Dadurch entsteht ein Markt mit einem entsprechenden Preis für Emissionsrechte. Im Idealfall lassen sich dann die vorgegebenen Umweltziele zu geringst möglichen Gesamtkosten erreichen, da die Minderungsmaßnahmen letztendlich dort durchgeführt werden, wo es am billigsten ist.

6.3 Die flexiblen Instrumente des Kyoto-Protokolls

Zur Begrenzung des bevorstehenden Temperaturanstieges hat sich die Europäische Union im Kyoto-Protokoll (KP) verpflichtet, den Ausstoß an Treibhausgasen bis zum Zeitraum 2008-2012 um 8 % zu vermindern. Deutschland wurde im Rahmen des EU-Burden Sharing ein Minderungsziel von 21 % zuteil. Um ein kostengünstiges Erreichen der Emissionsverpflichtungen zu ermöglichen, sieht das Kyoto-Protokoll verschiedene, so genannte Flexible Mechanismen vor, als Emissonsrechtesystem einen internationalen Emissionsrechtehandel und als Emissionsgutschriftensystem die so genannten projektbasierten Instrumente Clean Development Mechanism (CDM) und Joint Implementation (JI)[155].

- Internationaler Emissionsrechtehandel (EH) nach Artikel 17 des Kyoto-Protokolls: Dieser erlaubt den Annex-B-Ländern (Ländern mit Verpflichtungen), vom Kyoto-Protokoll zu-

[155] Zur ausführlichen Diskussion dieser Instrumente und ihrer kritischen Würdigung wird auf IPCC (2001) und Cames et al. (2001) hingewiesen.

gestandene, aber nicht selbst genutzte Emissionsrechte an andere Annex-B-Länder zu verkaufen.

- Clean Development Mechanism (CDM) nach Artikel 12 des Kyoto-Protokolls: Dabei beteiligt sich ein Annex-I-Land (Industrie- oder Transformationsland) bzw. ein Unternehmen aus einem Annex-I-Land an einem emissionssparenden Projekt in einem Non-Annex-I-Land (Entwicklungs- oder Schwellenland). Dies können zum Beispiel Finanzierungen von regenerativen Energieformen oder von Effizienzverbesserungen bei der Stromerzeugung oder dem Energieverbrauch sein. Die Anrechnung der gewonnenen zertifizierten Reduktionsgutschriften (Certified Emission Reduction, CERs) kann rückwirkend vom Jahre 2000 an erfolgen. Der CDM soll nicht nur Emissionsminderungen erbringen, sondern – darin unterscheidet er sich von den beiden anderen Mechanismen – ausdrücklich die beteiligten Entwicklungsländer in ihrem Weg zu einer nachhaltigen Entwicklung unterstützen. Hierzu zählen neben Technologietransfers und positiven Humankapital-Effekten ökologische Verbesserungen, die Reduktion der Abhängigkeit von Brennstoffimporten etc.

- Joint Implementation (JI) nach Artikel 6 des Kyoto-Protokolls: Dabei beteiligt sich ein Annex-I-Land (Industrie- oder Transformationsland) bzw. ein Unternehmen aus einem Annex-I-Land an der Finanzierung eines emissionssparenden Projekts in einem anderen Annex-I-Land. Dies können ähnliche Projekte sein wie beim CDM. Die Emissionseinsparungen können erst ab 2008 – anders als beim CDM – dem Investorland bzw. dem investierenden Unternehmen durch so genannte Emission Reduction Units (ERUs) gutgeschrieben werden; es kann damit einen Teil seiner Emissionsverpflichtungen erfüllen oder gewinnbringend weiterverkaufen.

6.4 Der Emissionsrechtehandel auf EU-Ebene

Im Rahmen des Europäischen Programm für Klimaänderungen (European Climate Change Programme) hat die Europäische Kommission im Jahr 2000 eine Strategie zum europäischen Klimaschutz vorgelegt[156] (KOM (2001) 580). Herzstück dieses Programms ist der *EU-weite Handel mit CO_2-Emissionsrechten für Unternehmen*, wozu EU-Parlament und Ministerrat im

[156] KOM (2001) 580: Mitteilung der Kommission über die Durchführung der ersten Phase des Europäischen Programms zur Klimaänderung (ECCP). http://www.europa.eu.int/comm/environment/climat/eccp.htm

Oktober 2003 eine entsprechende Richtlinie beschlossen haben.[157] Diese Richtlinie sieht vor, dass – unabhängig vom Inkrafttreten des Kyoto-Protokolls – vom Jahr 2005 an Betreiber bestimmter CO_2-intensiver Anlagen zur Teilnahme am CO_2-Handelssystem verpflichtet sind. Zu diesen Anlagen zählen neben Verbrennungsanlagen der Strom- und Wärmeerzeugung (mit einer Feuerungswärmeleistung von mindestens 20 MW_{th}) auch Raffinerien und Kokereien, sowie Anlagen aus den folgenden Bereichen sofern sie bestimmte Schwellenwerte überschreiten: Eisenmetallerzeugung und –verarbeitung, Mineralverarbeitung, Herstellung von Zellstoff aus Holz- und anderen Faserstoffen, von Papier und von Pappe. Der EU-Emissionshandel gilt zunächst u.a. für die EU-15 Mitgliedsstaaten sowie die EU-Beitrittsländer, kann aber zu einem späteren Zeitpunkt auch auf andere Länder oder Ländergruppen ausgeweitet werden.

Dabei besteht laut EU-Richtlinie für die Mitgliedsstaaten in der ersten Phase von 2005 bis 2007 die Möglichkeit, ein „Opt-out“ für bestimmte Anlagen bei der Kommission zu beantragen. In diesem Fall muss allerdings gewährleistet sein, dass die Anlagen über nationale Politiken und Maßnahmen einen vergleichbaren Beitrag zur Reduktion der Emissionen leisten, die Anlagen vergleichbare Überwachungs-, Berichterstattungs- und Verifizierungsvorgaben erfüllen und bei Nichteinhaltung der Emissionsvorgaben effektive Sanktionen greifen. Weiterhin besteht für die Mitgliedsstaaten die Option, ab 2008 weitere Anlagen und Gase in das Emissionshandelssystem einzubeziehen („Opt-in“), die bisher nicht vorgesehen sind. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass diese die Anforderungskriterien der Richtlinie erfüllen und den Binnenmarkt sowie die ökologische Integrität des Systems nicht beeinträchtigen.

Jede unter die Richtlinie fallende Anlage muss von der zuständigen Behörde eine Genehmigung zum Emittieren von Treibhausgasen erteilt bekommen. Dieses Genehmigungsverfahren soll dabei mit dem Verfahren nach der Richtlinie über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (so genannte IVU-Richtlinie, Rat der Europäischen Union 1996) koordiniert werden. Auf Basis der Genehmigung werden den Anlagen jedes Jahr Emissionsrechte zugeteilt, wobei die Emissionsrechte - im Gegensatz zur Genehmigung - handelbar sind. Folgende Tabelle gibt einen zusammenfassenden Überblick zu den wesentlichen Ausgestaltungsfragen, wie sie in der EU-Emissionshandelsrichtlinie festgelegt sind. Aus

[157] Diese wurde im Amtsblatt der Europäischen Union am 25. Oktober 2003 veröffentlicht (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).

der Tabelle ist ersichtlich, dass in einigen Punkten, wie zum Beispiel dem Allokationsverfahren oder der Möglichkeit, überschüssige Emissionsrechte von 2007 in die erste Kyoto-Periode (2008-2012) zu übertragen, keine detaillierte EU-weit einheitliche Regelung vorgesehen ist.[158] Diese und andere Fragen werden gemäß dem Subsidiaritätsprinzip auf der Ebene der Mitgliedsstaaten bei der Erstellung der sogenannten nationalen Zuteilungs- bzw. Allokationspläne entschieden.

Tabelle 6.4-1 Ausgestaltung des EU-Emissionsrechtehandels im Überblick

Parameter	Ausgestaltung
Art des Systems	Emissionsrechtehandel (*Cap and Trade)*
Zeitliche Einteilung	2005-2007 erste Zuteilungsperiode, 2008-2012, zweite Zuteilungsperiode ab 2013 weitere 5-Jahresperioden
Teilnehmer	Orientierung an IVU-Richtlinie, dabei sind vor allem Anlagen aus der Energieerzeugung, der Herstellung und Verarbeitung von Metallen und der mineralverarbeitenden Industrie sowie der Papierherstellung einbezogen (siehe Tabelle I-1) Für die erste Phase ist ein ***Opt-out*** für Anlagen und Branchen über die Mitgliedsstaaten möglich, wobei gewährleistet sein muss, dass die Anlagen / Branchen über nationale Politiken und Maßnahmen eine vergleichbaren Beitrag zur Reduktion der Emissionen leisten, sie vergleichbare Überwachungs-, Berichterstattungs- und Verifizierungsvorgaben erfüllen und bei Nichteinhaltung der Emissionsvorgaben effektive Sanktionen verhängt werden. Umgekehrt besteht für die Mitgliedsstaaten die Option ab der zweiten Periode weitere Branchen, Anlagen und Gase in das Emissionsrechtehandelssystem einzubeziehen (***Opt-in***), die bisher in Tabelle I-1 nicht vorgesehen sind, vorausgesetzt diese erfüllen die Anforderungskriterien der Richtlinie und gefährden nicht den Binnenmarkt sowie die ökologische Integrität des Systems. Für Anlagen, die in Tabelle I-1 aufgeführt sind, jedoch unter dem jeweiligen Schwellenwert liegen, besteht bereits ab 2005 die Möglichkeit eines *Opt-in*. Außerdem besteht für Anlagenbetreiber einer Branche die Möglichkeit, ein ***Pooling*** ihrer Emissionsrechte vorzunehmen und diese einem Treuhänder zu überlassen.
Zertifikats-merkmale	Nur direkte Emissionen. Anfangs ist nur CO_2 vorgesehen, wobei die Option besteht, dass Mitgliedsstaaten weitere Gase in der zweiten Periode einbeziehen (***Opt-in***), wenn diese von der Kommission genehmigt werden. Außerdem können auf Initiative der Kommission oder auf Antrag eines Mitgliedsstaates weitere Kyoto-Gase in das Emissionsrechtehandelssystem eingebunden werden, wenn *Monitoring*- und Berichterstattungsverfahren mit ausreichender Genauigkeit möglich sind.

[158] Banking (und Borrowing) reduzieren die Minderungsgesamtkosten, da Kostenunterschiede über die Zeit ausgenutzt werden können. Außerdem lassen sich dadurch Preisschwankungen, die sich andernfalls aufgrund von Planungsunsicherheiten besonders zu Beginn oder gegen Ende einer Zuteilungsperiode einstellen können, gedämpft. Aufgrund der „spill-over“-Effekte unterschiedlicher nationaler Banking-Regeln wäre eine EU-weite Koordinierung in dieser Frage sinnvoll gewesen, um ein mögliches „Gefangenen-Dilemma“ zu vermeiden (Schleich et al. 2004).

Parameter	Ausgestaltung
Anfangs-allokation	Für die erste Phase ist eine kostenlose Zuteilung von mindestens 95% der vergebenen Emissionsrechte vorgeschrieben. Damit besteht die Option, in der ersten Zuteilungsperiode maximal 5 % der Rechte zu versteigern. Für die zweite Phase ist eine Gratisvergabe für mindestens 90 % der vorgeschrieben, Mitgliedsstaaten müssen einen nationalen Allokationsplan erstellen (Kriterien hierfür sind in Anhang III der Richtlinie definiert) und diesen von der Kommission genehmigen lassen. Dieser enthält Angaben, wie viele Zertifikate pro Anlage in der Periode vergeben werden.
Neuemittenten – Stilllegungen von Anlagen	Regelungen bzgl. Neuemittenten sind nicht vorgeschrieben. Sie sind jedoch jeweils in den nationalen Allokationsplänen zu erläutern.
Einbeziehung projektbasierter Mechanismen	Gutschriften (z. B. CERs, ERUs), die durch projektbasierte Mechanismen gewonnen worden sind, sollen für die Zielerreichung anrechenbar sein. Wie die Einbeziehung von JI- und CDM-Projekte genau aussehen soll, wird entweder in einer separaten Richtlinie geregelt werden, die parallel mit dieser Richtlinie in Kraft treten soll, oder in einer Ergänzung der Richtlinie zum EU-EHS festgelegt.
Abrechnung, Banking / Borrowing	Die Abrechung erfolgt am 30 April eines jeden Jahres. Die Entscheidung über das *Banking* von 2007 (erste Zuteilungsperiode) nach 2008 (zweite Zuteilungsperiode) ist von jedem Mitgliedsstaat überlassen, wobei angemerkt ist, dass die zu übertragende Menge sich an den Emissionsreduktionen orientieren kann, die auf dem nationalen Territorium dieser Personen erfolgt sind. Ab der 2. und in den folgenden Perioden ist das *Banking* ohne Einschränkung erlaubt. *Borrowing* zwischen Zuteilungsperioden ist verboten, innerhalb einer Zuteilungsperiode, d. h. zwischen einzelnen Jahren jedoch erlaubt.
Emissions-quantifizierung und Bericht-erstattung	Die beteiligten Anlagenbetreiber erhalten von ihren Mitgliedsstaaten Genehmigungen (*Permits*). Diese sollen in Zusammenhang mit der IVU-Genehmigung erteilt werden und sehen vor, dass der Anlagenbetreiber für die jeweilige Periode Emissionsrechte, so genannte Emissionsberechtigungen, im Rahmen seiner tatsächlichen Emissionen vorweisen muss. Damit die Daten verifiziert werden können, müssen bestimmte Quantifizierungs- und Berichterstattungsvorgaben erfüllt sein. Erste Grundsätze für Quantifizierung und Berichterstattung der Emissionen finden sich im Annex IV der Richtlinie. Es werden sowohl die indirekte Berechnungsmethode als auch standardisierte Messverfahren akzeptiert (siehe Details in Kapitel EH I.2).
Sanktionen	Für jede nicht gedeckte Tonne CO_2-Äqu. müssen Sanktionen in Höhe von 100 €/t CO_2-Äqu. (bzw. 40 €/t CO_2 in der ersten Zuteilungsperiode) bezahlt werden. Außerdem sind die fehlenden Zertifikate im Folgejahr nachzureichen. Ferner müssen die Mitgliedsstaaten jene Anlagenbetreiber, die nicht genügend Emissionsrechte vorweisen können, bekannt geben.
Evaluierung	Zum 30.6.2006 wird die EU-Kommission über folgende Themen Bericht erstatten: – Ausdehnung auf andere Anlagen und Kyoto-Gase; – Beziehung zwischen dem EU-Emissionsrechtehandelssystem und dem internationalen Kyoto-Emissionsrechtehandelssystem, das 2008 beginnen soll; – Weitere Harmonisierung des Allokationsverfahrens und Kriterien für die Harmonisierung des Nationalen Allokationsplanes; – Nutzung der Gutschriften von projektbasierten Mechanismen; – Beziehung zu anderen Maßnahmen auf Mitgliedsstaaten- und EU-Ebene; – Entscheidung bzgl. einer Einzel- oder Gemeinschaftsregelung bzgl. des Registers; – Anpassung der Sanktionshöhe z. B. aufgrund von Inflation; – Funktionsweise der Emissionsrechtehandelsmarktes, speziell bei Marktstörungen; – Anpassung des Emissionsrechtehandelssystems an die erweiterte EU; – *Pooling*.

Der *Nationale Zuteilungsplan* als das zentrale Element des EU-Emissionshandelssystems besteht in Deutschland aus einem Makroplan und einem Mikroplan. Der *Makroplan* regelt die Aufteilung des nationalen Emissionszieles auf die verschiedenen Treibhausgase und Sektoren und legt die Menge an CO_2–Emissionsberechtigungen fest, die den Unternehmen insgesamt zugeteilt werden. Da die Gesamtmengen an Emissionen, die die einzelnen Staaten ausstoßen dürfen, durch die internationalen Vereinbarungen fest vorgegeben sind, führt eine Mehrzuteilung an einer Stelle also zwingend zu einer Minderzuteilung an anderer Stelle. Forderungen der Industrie- und Energiesektoren, möglichst viele Emissionsrechte zu erhalten, hätten daher automatisch stärkere Einsparungen in den Sektoren Private Haushalte oder Verkehr zur Folge. Im Vergleich dazu regelt der *Mikroplan* die Zuteilung von Rechten auf die einzelnen Anlagen. Im Prinzip könnten Emissionsrechte gratis, zu einem vorher festgelegten Preis, oder über eine Versteigerung vergeben werden. Bei der Aufstellung der Zuteilungspläne, die bis zum 31. März 2004 bei der EU-Kommission zur Prüfung vorzulegen waren, hatte jeder Mitgliedsstaat eine Reihe von Kriterien zu beachten:

- Klimaschutzziele
- Technische Minderungsmöglichkeiten
- Vermeidung von Ungleichbehandlungen
- Wahrung von Marktzutrittschancen für neue Teilnehmer
- Mögliche Anrechnung von frühzeitig durchgeführten Maßnahmen (Early action)
- Berücksichtigung umweltfreundlicher Technologien

Darüber hinaus konnten zusätzliche nationale Kriterien angewendet werden.

Seit Anfang 2001 tagt in Deutschland unter Federführung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit die Arbeitsgruppe „Emissionshandel zur Bekämpfung des Treibhauseffektes“ (AGE). Darin werden gemeinsam mit Vertretern der deutschen Wirtschaft Möglichkeiten erörtert, wie ein Emissionshandelskonzept in die deutsche Klimaschutzpolitik eingebunden werden kann.

6.5 Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft(LULUCF)

Eine besondere Form von nationalen Minderungsmöglichkeiten, aber auch prinzipiell von JI- und CDM-Projekten bzw. einem internationalem Emissionshandel, stellen Senkenprojekte dar. Nach der Definition des Klimarahmenabkommens (§ 1.8) sind Senken „ ...Mittel und Prozesse, Aktivitäten oder Mechanismen, die Treibhausgase, Aerosole oder Vorläuferstoffe von Treibhausgasen aus der Atmosphäre entfernen“. Im KP bestehen Regelungen zu bestimmten Senken, bei denen durch die Photosynthese CO_2 aus der Luft in organische Kohlenstoffverbindungen umgewandelt werden: die Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft (LULUCF, im Folgenden auch als Senken bezeichnet).

Bei der Senkenanrechnung bestehen eine Reihe von Risiken und Unsicherheiten. So bestehen vor allem naturwissenschaftliche Unklarheiten bezüglich der gebundenen CO_2-Menge. Die Absorptionsraten während des Pflanzenwachstums sowie die Bindungszeiträume sind nur schwer zu bestimmen. Zusammen mit der Problematik der Bestimmung der Bewuchsdichte auf großen Flächen ergeben sich starke Unsicherheiten bei der Hochrechnung der Gesamtmenge. Bei der Speicherung in Böden sind diese Probleme noch gravierender, da die zugrunde liegenden biochemischen Prozesse komplizierter sind und zusätzlich mit stärkeren Freisetzungen von CO_2 und Methan gerechnet werden muss. Über die naturwissenschaftlichen Unsicherheiten hinaus wird vor allem die Kontrolle der Vorschriften als problematisch angesehen. Unklarheit herrscht auch bezüglich der Behandlung der Dauerhaftigkeitsproblematik. Da der Kohlenstoff nach Beendigung des Pflanzenwachstums wieder freigesetzt wird, handelt es sich nur um eine vorübergehende Bindung. Aufgrund des hohen Potentials an Senken wird vielfach befürchtet, dass das KP durch das Nutzen von Senken, die ohne menschliche Aktivitäten entstehen, unterlaufen wird.

Trotz der hohen Unsicherheiten und des Widerstandes von einigen Vertragsstaaten wurde auf der Konferenz in Bonn (COP 6) beschlossen, Senkenprojekte bei der Erfüllung der Verpflichtungen einzubeziehen. Auf der nächsten Konferenz in Marrakesch (COP 7) wurden dann wichtige Definitionen und Regelungen vereinbart, insbesondere die genaue Definition und Abgrenzung des Begriffes „Wald“.

In Art. 3.3 des KP ist festgelegt, dass jede Landnutzungsänderung, bei der ein Wechsel zwischen Wald und einer anderen Nutzung stattfindet, im nationalen Kohlenstoffbudget verrech-

net werden muss; d. h. die C-Senken durch Neu- bzw. Wiederaufforstung sind einzuberechnen, wie auch die C-Quellen durch Rodung[159]. Die Minderung muss durch aktives menschliches Handeln auf Flächen erfolgen, die 1990 nicht als Waldflächen ausgewiesen waren. Für die erste Verpflichtungszeitraum 2008/2012 sind alle Treibhausgasflüsse im Vergleich zum Basisjahr 1990 anzurechnen. Wenn eine Emissionsquelle besteht, dann kann diese allerdings durch Maßnahmen unter Art. 3.4 des KP kompensiert werden. Die Kohlenstoffeinlagerung bei der Aufforstung und den Wiederbewaldungsflächen kann nur in den 5 Jahren der Verpflichtungsperiode angerechnet werden, während im Fall der Entwaldung in der Regel der Kohlenstoffgehalt eines ausgewachsenen Bestandes als Emission verbucht werden muss[160]. Hierdurch fallen Quellen im Vergleich zu Senken stärker ins Gewicht.

Der Art. 3.4.[161] legt fest, dass die Einrechnung von senkensteigernden land- oder forstwirtschaftlichen Maßnahmen in die erste Verpflichtungsperiode (2008-2012) den Ländern optional überlassen wird. Für die quantitativ am stärksten ins Gewicht fallende Senkenkategorie, die Forstwirtschaft, wurden länderindividuelle Obergrenzen festgelegt. Für Deutschland beträgt sie 1,24 Mt C/Jahr (das entspricht 4,55 Mt CO_2/Jahr)[162]. Da noch viele technisch-wissenschaftliche Fragestellungen offen sind, ist das IPCC gebeten wurden, weitere Zuarbeit zur Klärung dieser offenen Fragen zu leisten. Eine einmal gemeldete Kohlenstoffsenke muss in allen folgenden Verpflichtungsperioden über ihre Quelle-Senkenleistung abgerechnet werden. Da die Kohlenstoffbilanz eines Ökosystems über die Jahre deutlichen Schwankungen unterliegt, müssen die Länder eine Risikoabwägung darüber vornehmen, ob sie Senken in der ersten Verpflichtungsperiode des KP angeben. Die Erhöhung des C-Gehaltes durch Bewirtschaftung von Weideland und Ackerboden ist unbegrenzt anrechenbar.

---

159 Die durch diese Senkenprojekte im Inland generierten Emissionsgutschriften (so genannte Removal Units (RMU)) dürfen nicht in die nächste Verpflichtungsperiode übertragen werden.

160 Dabei besteht allerdings die Einschränkung, dass für eine Fläche die Abzüge aus Quellen nicht größer sind als die Gutschriften durch Senken.

161 Unter Art. 3.4 werden Wald-, Landwirtschafts- und Weidemanagement und Begrünung als Aktivitäten zugelassen.

162 Dies Obergrenzen wurden bestimmt, indem die gemeldeten Daten der Vertragsstaaten oder Daten der FAO mit einem Abschlagsfaktor von 85 % multipliziert wurden. Zusätzlich musste dieser Wert kleiner oder gleich 3% der Emissionen des Referenzjahres sein. Aufgeweicht wurden die Regelungen durch die Berücksichtigung nationaler Besonderheiten.

Die Quantifizierung des Senkenpotenzials für Deutschland gestaltet sich als problematisch. Die Waldbestände haben in den letzten Jahren stetig zugenommen[163], aber der Anteil, der auf anthropogenen Aktivitäten zurückzuführen ist, ist zu bestimmen. Weiterhin sind die Quellen entgegenzurechnen.

Bei den projektbasierten Aktivitäten ergibt sich folgende Situation durch CDM werden in der ersten Verpflichtungsperiode auf 1 % der Emissionen des Basisjahres begrenzt, wobei nur Neu- bzw. Wiederbewaldungsprojekte anrechenbar sind. Für Deutschland bedeutet diese eine Beschränkung auf maximal 11,9 Mio. t CO_2 bzw. 3,25 Mio. t C/Jahr. Für Senkenaktivitäten durch JI gibt es keine Beschränkung.

Weltweit gibt es ein großes Potenzial an biologischen Senken, das die Minderungsverpflichtungen der Industriestaaten um ein mehrfaches übersteigt. Nach OcCC (2002) wird den terrestrischen Ökosystemen in der nördlichen Hemisphäre eine Senkenleistung von 8 400 Mio. t CO_2/Jahr zugesprochen. Wenn die durch Rodung verursachten Kohlenstoffquellen der südlichen Hemisphäre, die mit 5 900 Mio. t CO_2/Jahr veranschlagt werden, dagegen gerechnet werden, bleibt eine Netto-Senkenwirkung von 2 500 Mio. t CO_2 /Jahr. Dies sind 520 % der Reduktionsverpflichtung der Industrienationen ohne die USA[164]. Das technisch-physikalische Potenzial von Senkenprojekten wird vom IPCC (2001) auf 21 % der gesamten Emissionen der Annex-I-Staaten im Basisjahr 1999 geschätzt. In IPCC (2001) werden auch Aussagen zu Vermeidungskosten von Senkenprojekten im Vergleich zu anderen Klimaschutzmaßnahmen getroffen.

6.6 Quantifizierung der Minderungspotenziale von flexiblen Instrumente

Bei der folgenden Quantifizierung der flexiblen Instrumente wird nicht zwischen JI, CDM und einem Emissionshandel unterschieden, weil zum einen die bisherigen Studien i.d.R. hier nicht differenzieren und zum anderen für Potenzialaussagen es unerheblich ist, ob diese über JI, CDM oder einen Emissionshandel realisiert werden. Es ist jedoch selbstredend, dass die beiden Instrumente sowohl aufgrund ihres prinzipiellen Ansatzes sowie bei einer konkreten Ausgestaltung zu einer unterschiedlichen Potenzialrealisierung und abweichenden ökonomischen Auswirkungen führen können.

---

[163] Siehe Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft 2001 und Frühwald et al.

Auf der COP 6 in Bonn ist die Höhe des Beitrages für projektbasierte Instrumente nicht beschränkt worden. Die Maßnahmen im Inland sollen jedoch einen „wesentlichen Bestandteil“ bilden und die projektbasierten Ansätze sollten ergänzend (supplemental, Artikel 17 des KP) sein. Eine Quantifizierung des „Ergänzenden“ ist bisher nicht vorgenommen, und innerhalb der Vertragstaaten wird dieser Aspekt auch sehr unterschiedlich gesehen (siehe zu Standpunkten einzelner Staaten die Ausführungen in Cames et al. 2001). Für einen internationalen Emissionshandel sind zurzeit noch keine Grenzen festgelegt.

In einer Vielzahl an Studien mit unterschiedlichen methodischen Ansätzen und Bilanzräumen ist nachgewiesen worden, dass die projektbasierten Instrumente eine signifikante Rolle innerhalb einer effizienten Minderungsstrategie einnehmen können, wenn die reinen Vermeidungskosten als Maßstab herangezogen werden. In IPCC (2000) und in Cames et al. (2001) wird eine Überblick über die verschiedenen Studien gegebenen. In IPCC (2000) wird auf der Basis von Studien mit Energiewirtschaftsmodellen (Top-Down-Modellen) die Schlussfolgerung gezogen, dass ein Emissionshandel die negativen Auswirkungen der Durchsetzung von Emissionsminderungszielen auf die Entwicklung des Bruttosozialproduktes deutlich absenkt (bei den meisten Studien sinken die Emissionsminderungsausgaben mindestens um die Hälfte), weil die nationalen bzw. regionalen Kostenunterschiede bei Emissionsminderungsmaßnahmen genutzt werden können. Je weiter der Bilanzraum ausgedehnt wird, umso größer ist der positive Einfluss eines Emissionshandels. Fasst man die Ergebnisse zusammen (siehe Cames et al. 2001), dann könnte weltweit betrachtet der Anteil von CDM-Projekten an den Emissionsminderungsverpflichtungen der Annex I-Staaten zwischen 10 und knapp 60 % liegen. Der Marktanteil von JI und einem Emissionshandel könnte zwischen 10 und knapp 50 % betragen.

Verschiedene Berechnungen, in denen Deutschland explizit betrachtet wird, zeigen vergleichbare Ergebnisse. Wenn die Grenzausgaben für Emissionsminderungsmaßnahmen als Entscheidungsgröße herangezogen werden, so zeigen Berechnungen auf Basis so genannter Bottum-up-Modelle erhebliche Beiträge von flexiblen Instrumenten zu einer wirtschaftlich-effizienten Minderung der Treibhausgase (siehe Rentz et al. (1998) und Böhringer et al. (2000a)).

2002.

[164] OcCC (2003). In Rentz et (1998) wird eine vergleichbare Schlussfolgerung gezogen.

6.7 Quantifizierung der Minderungspotenziale durch einen EU-Emissionsrechtehandel

Verschiedene Studien mit unterschiedlicher methodischer Verankerung wurden durchgeführt, um die Auswirkungen eines Emissionsrechtehandels in Europa zu bewerten. Die Auswirkungen des EU-Emissionrechtehandels (Kapitel 6.4) sind bisher nicht genau spezifiziert worden, da hierzu auch die nationalen Allokationspläne, die zur Zeit vorbereitet werden, bekannt sein müssen. Die im Folgenden erwähnten Studien basieren deshalb auf gewissen Annahmen zur Ausgestaltung eines Emissionshandels.

Ausführliche Analysen zu einem CO_2–Emissionsrechtehandelssystem in Europa auf der Grundlage eines Bottum-up-Modells mit einer makroökonomischen Ankopplung sind in Capros (2000) niedergelegt. Unter der Zielsetzung der EU Burden Sharing-Vereinbarung werden Handelssysteme mit unterschiedlichen Bilanzraum bezüglich der teilnehmenden Staaten und Sektoren durchgerechnet. Die Ergebnisse zeigen, dass für Deutschland wie für die EU ökonomische Vorteile zu erwarten sind. Auf Basis eines Bottom-up-Modells zeigt auch Enzensberger (2003) relevante ökonomische Vorteile eines europäischen Emissionshandelsystems auf[165].

In Böhringer (2000b) wird ebenfalls auf die positiven Auswirkungen eines Emissionshandels für die Gesamtwirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland hingewiesen, wenn die Zertifikate per Auktion verteilt werden (Basis bildet hier eine makroökonomische Modellierung). Auch in Matthes et al. (2003) werden die ökonomischen Effizienzgewinne eines möglichen EU-Zertifikatshandelsystems anhand von Modellrechungen betont.

6.8 Zusammenfassung

Der Beitrag von Wald-, Landwirtschafts- und Weidemanagement und Ödlandbegrünung an einer an einer Reduzierung der CO_2-Emissionen ist durch die internationalen Abkommen auf 4,55 Mio. t CO_2 pro Jahr beschränkt. Die Ausnutzung dieser Potenziale ist optional. Unbeschränkt verpflichtend hingegen ist die Einrechung von Senken sowie gegenzurechnenden Quellen aus Landnutzungsänderungen (Neuaufforstung und Wiederbewaldung). Die Auswirkung auf die CO_2–Bilanz in Deutschland ist schwer zu quantifizieren.

---

[165] Bezüglich Käufer- und Verkäuferländer von Emissionsrechten kommen die beiden Studien Capros (2000) und (Enzensberger (2003) zu unterschiedlichen Ergebnissen.

Die flexiblen Instrumente des Kyoto-Protokolls (CDM, JI und ein Emissionshandel) könnten unter dem Kriterium der Vermeidungskosten sowie ihres Potenzials eine gewisse Rolle innerhalb einer nationalen Klimapolitik spielen; sie werden aber aus unterschiedlichen Gründen kontrovers diskutiert. Ein Emissionshandel mit CO_2 könnte europaweit und in Deutschland ebenfalls zur Absenkung der Vermeidungskosten gegenüber rein nationalen Lösungen führen. Wie sich der EU-Emissionshandel letztlich konkret auf die Maßnahmen zum Klimaschutz in den einzelnen Ländern auswirken wird, hängt jedoch auch von den nationalen Allokationsplänen ab, die zur Zeit diskutiert werden.

Literatur zu Kapitel 6

Betz, R., Schleich, J. und Wartmann, S. (2003): Flexible Instrumente im Klimaschutz – Eine Anleitung für Unternehmen (aktualisierte Version). Fraunhofer ISI, Karlsruhe. http://www.isi.fhg.de/u/index.htm.

Böhringer, Ch.; Conrad, K.; Löschel, A. (2000a): Carbon Taxes and Joint Implementation – An applied general equilibrium anaylsis for Germany and India, Beiträge zur angewandten Wirtschaftsforschung NO. 591-00, Universität Mannheim

Böhringer, Ch. (2000b): Industry-Level Emission Trading between Power Producers in the EU, ZEW-Discusion Paper No. 99-46

Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (2001): Gesamtwaldbericht der Bundesregierung, Juli 2001, Internet-Download vom 18.12.2002, http://www.verbraucherministerium.de/wald_forst/gesamtwaldbericht-07-2001.pdf

Cames, M.; Herold, A.; Kohlhaas, M.; Schumacher, K.; Timpe, Ch.: Analyse und Vergleich der flexiblen Instrumente des Kioto-Protokolls (2001): Endbericht zum Gutachten “Instrumentenvergleich” für die Enquete-Kommission “Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung” des Deutschen Bundestages, Berlin: Öko-Institut und Berlin: DIW

Capros, P.; Mantzos, L. (2000): The Economic Effects of Industry-Level Emission Trading to Reduce Greenhouse Gases: Primes model v.2, E3M-Laboratory at ICCS/NTUA, Athens: E3M Lab

Council of the European Union (CEU): Amended proposal for a Directive of the European Parliament and the Council establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community and amending Council Directive 96/61/EC-Political Agreement, 2001/0245 (COD), Brussels: CEU, 2002

COM (2000) 87: Green Paper on greenhouse gas emissions trading within the European Union. http://www.europa.eu.int/comm/environment/docum/0087_en.htm

COM(2001) 581: Directive of the European Parliament and of the Council establishing a framework for greenhouse gas emissions trading within the European Community and amending Council Decision 96/61/EC. http://www.europa.eu.int/comm/environment/climat/emission.htm

Enzensberger, N. (2003): Sektorspezifische Analyen zu den Konsequenzen eins europäischen Emissionsrechtehandels – Entwicklung und Anwendung eines europäischen Strom- und Zertifikatehandelsmodell für den europäischen Energiesektor, Arbeitspapier des Instituts für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP) der Universität Karlsruhe, Karlsruhe: IIP

ENV/02/8: Working document, Council of the European Union, Brüssel, 28. August 2002

Europäischer Rat ENV 776 (2003): Gemeinsamer Standpunkt des Rates vom 18. März 2003 im Hinblick auf den Erlass der Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Gemeinschaft und zur Änderung der Richtlinie 96/61/EG des Rates http://europa.eu.int/comm/environment/climat/emission.htm.

European Commission (2001): European Climate Change Programme. Long Report. http://www.europa.eu.int/comm/environment/climat/eccp_longreport_0106.pdf

Frühwald, A.; Heuveldop, J.; Thoroe,C. (2002): Stellenwert der Forst- und Holzwirtschaft in der Klimapolitik, Internet-Download vom 16.02.2002, www.verbraucherministerium.de/forschungsreport/rep1-02/kap09.hat)

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2001): Climate Change 2001: Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report, Cambridge, Cambridge University Press

KOM (2001) 580: Mitteilung der Kommission über die Durchführung der ersten Phase des Europäischen Programms zur Klimaänderung (ECCP). http://www.europa.eu.int/comm/environment/climat/eccp.htm

KOM (2001) 581: Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionsberechtigungen in der Gemeinschaft und zur Änderung der Richtlinie 96/61/EG des Rates

Matthes, F.; Cames, M.; Deuber, O.; Koch, M.; Harnsich, J.; Kohlhaas, M.; Schumacher, K.; Ziesing, H.-J. (2003): Auswirkungen des europäischen Emissionshandelssystems auf die deutsche Industrie, , Endbericht für die WWF Umweltstiftung Deutschland, Berlin: Öko-Institut, Berlin: DIW, Köln: ECOFYS

Organe consultatif sur les chagements climatiques: Stellungnahme des OcCC zu den Verhandlungsergebnissen der COP 7 in Marrakesch, Internet-Download vom 16.02.2003, http://www.umwelt-schweiz.ch/imperia/md/content/oekonomie/klima/dokumentation/2.pdf
Rat der Europäischen Union (1996): Richtlinie 96/61/EG des Rates über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung

Rentz, O.; Wietschel, M.; Ardone, A.; Fichtner, W.; Göbelt, M.(1998): Zur Effizienz einer länderübergreifenden Zusammenarbeit bei der Klimavorsorge - Analyse von Joint Implementation unter Einbezug eines Emissionsrechtehandels für die Bundesrepublik Deutschland, die Russische Föderation und Indonesien, Endbericht eines Forschungsvorhabens im Auftrag VW-Stiftung, Karlsruhe: Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion

Schleich,J.; Betz, R.; Wartmann, S.; Erhart, K._M.; Hoppe, Ch.; Seifert, S. (2002): Simulation eines Emissionshandels für Treibhausgase in der baden-württembergischen Unternehmenspraxis (SET UP), Endbericht eines Forschungsprojekt im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, Karlsruhe: ISI

Schleich, J. Ehrhart, K.-M., Hoppe, C. und Seifert, S. (2004): Banning banking in EU emissions trading; Working Paper, Fraunhofer ISI, Karlsruhe.

7 Zusammenfassende Betrachtung der Reduktionsszenarien im Vergleich zum Modell-Basis- und zum Referenz-Szenario (DIW Berlin)

7.1 Die Szenarien im Überblick

In Tabelle 7.1-1 sind die Ergebnisse der Modell-Rechnungen für die CO_2-Emissionen in den verschiedenen Szenarien zusammenfassend dargestellt. Der Tabelle 7.1-2 sind die absoluten Differenzen zwischen den beiden Reduktionsszenarien und dem Modell-Basis-Szenario einerseits und dem Referenzszenario andererseits zu entnehmen.

Dabei stehen bei der Bewertung der Reduktionsszenarien weniger die Resultate für die CO_2-Emissionen insgesamt im Vordergrund – diese entsprechen annahmegemäß den vorgegebenen Emissionsminderungszielen -, sondern die unterschiedlichen Minderungsbeiträge der einzelnen Sektoren, die sich unter Kosteneffizienzgesichtspunkten herausbilden. Dies erlaubt eine Einschätzung der in den einzelnen Szenarien modellseitig gegebenen Handlungsspielräume für zielorientierte Emissionsminderungsmaßnahmen in den unterschiedlichen Sektoren.

Tabelle 7.1-1 Entwicklung der CO_2-Emissionen in Deutschland bis 2030 in den Szenarien

Sektoren	Ist-Werte (bereinigt)		Modell-Basis-Szenario			Referenzszenario			Reduktionsszenario I			Reduktionsszenario II		
	1990	2000	2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030
	CO_2-Emissionen in Mio. t													
Industrie	171	119	115	109	104	113	108	101	115	109	102	113	103	94
GHD/Haushalte	241	201	188	179	173	186	185	177	187	173	156	175	140	113
GHD	96	65	65	60	55	57	57	54	66	58	52	63	53	39
Haushalte	145	136	123	118	118	129	128	123	121	115	105	112	86	74
Verkehr (national)	158	178	196	190	175	188	181	170	196	190	175	196	184	169
Summe Endenergiesektoren	570	498	499	478	452	487	474	448	498	472	433	485	427	376
Summe Energiesektor	443	365	312	337	331	338	356	367	284	238	174	256	180	131
Summe energiebedingte CO_2-Emissionen	1014	864	812	815	784	825	830	816	783	709	608	739	607	507
Prozessbedingte CO_2-Emissionen[1)]	28	26	keine Angaben			24	24	23	24	22	20	keine Angaben		
Summe CO_2-Emissionen	1042	890	keine Angaben			849	854	839	807	731	628	keine Angaben		
Summe Nicht-CO_2-Emissionen[1)]	236	154	keine Angaben			141	138	138	139	134	133	keine Angaben		
Summe Treibhaus-gasemissionen	1278	1044	keine Angaben			990	992	977	946	865	761	keine Angaben		

Anmerkung: CO_2-Emissionen nach der Systematik der Energiebilanzen. Abweichungen in den Summen rundungsbedingt.
[1)] Unter Reduktionsszenario I wird das im Kapitel 5.10 beschriebene "Mit-weiteren-Maßnahmen -Szenario" ausgewiesen.
Quellen: Enquete-Kommission; AG Energiebilanzen; UBA; FZJ; Fhg-ISI; Öko-Institut; DIW Berlin.

Tabelle 7.1-2 Veränderungen der CO_2-Emissionen in Deutschland bis 2030 in den Reduktionsszenarien im Vergleich zum Modell-Basis-Szenario und zum Referenz-Szenario

Sektoren	Reduktionsszenario I			Reduktionsszenario II			Reduktionsszenario I			Reduktionsszenario II		
	2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030
	Abweichungen vom Modell-Basis-Szenario in Mio. t						Abweichungen vom Modell-Basis-Szenario in %					
Industrie	0	0	-2	-2	-6	-10	0	0	-2	-2	-6	-10
Summe GHD/Haushalte	-1	-6	-17	-12	-39	-60	0	-3	-10	-7	-22	-35
Verkehr (national)	0	0	0	0	-6	-6	0	0	0	0	-3	-3
Summe Endenergiesektoren	-2	-12	-35	-27	-91	-136	0	-2	-6	-4	-14	-22
Summe Energiesektor	-28	-99	-157	-56	-157	-200	-9	-29	-47	-18	-47	-60
Summe energiebedingte CO_2-Emissionen	-29	-106	-176	-73	-208	-277	-4	-13	-22	-9	-26	-35
	Abweichungen vom Referenz-Szenario in Mio. t						Abweichungen vom Referenz-Szenario in %					
Industrie	2	1	1	0	-5	-7	2	1	1	0	-5	-7
Summe GHD/Haushalte	1	-12	-21	-10	-45	-64	1	-7	-12	-6	-25	-36
GHD	9	1	-2	6	-4	-15	16	2	-4	11	-6	-27
Haushalte	-8	-13	-18	-17	-42	-49	-6	-10	-15	-13	-33	-40
Verkehr (national)	8	9	5	8	3	-1	4	5	3	4	2	-1
Summe Endenergiesektoren	12	-15	-35	-13	-93	-136	2	-2	-6	-2	-14	-22
Summe Energiesektor	-54	-118	-193	-82	-176	-236	-16	-33	-53	-24	-49	-64
Summe energiebedingte CO_2-Emissionen	-42	-121	-208	-86	-223	-309	-5	-15	-25	-10	-27	-38
Prozessbedingte CO_2-Emissionen[1)]	0	-2	-3	keine Angaben			-1	-9	-15	keine Angaben		
Summe CO_2-Emissionen	-42	-124	-211	keine Angaben			-5	-14	-25	keine Angaben		
Summe Nicht-CO_2-Emissionen[1)]	-2	-4	-5	keine Angaben			-1	-3	-4	keine Angaben		
Summe Treibhaus-gasemissionen	-44	-127	-216	keine Angaben			-4	-13	-22	keine Angaben		

Anmerkungen: CO_2-Emissionen nach der Systematik der Energiebilanzen. Abweichungen in den Summen rundungsbedingt.
[1)] Unter Reduktionsszenario I wird das im Kapitel 5.10 beschriebene "Mit-weiteren-Maßnahmen -Szenario" ausgewiesen.
Quellen: Enquete-Kommission; AG Energiebilanzen; UBA; FZJ; Fhg-ISI; Öko-Institut; DIW Berlin.

7.2 Wertung der Szenarien

Die Reduktionsszenarien erreichen annahmegemäß die vorgegebenen Emissionsziele. Deutlich lässt Tabelle 7.1-2 erkennen, dass die entscheidenden Emissionsminderungsbeiträge in beiden Reduktionsszenarien vom Energiesektor erbracht werden.

- Im Fall des *Reduktionsszenarios I* ist die Emissionsreduktion im Vergleich zum Modell-Basis-Szenario wie zum Referenzszenario zu mehr als 90 % auf diesen Sektor zurückzuführen.

- Im *Reduktionsszenario II* müssen aber auch die anderen Sektoren größere Beiträge leisten; immerhin ist der Energiesektor auch in diesem Reduktionsszenario mit mehr als drei Vierteln an der Emissionsminderung beteiligt.

Auffällig ist in allen Szenarien, dass der Verkehr wie die Industrie unter Kostengesichtspunkten in beiden Reduktionsszenarien nach den modellseitigen Ergebnissen am allerwenigsten zur Erreichung der vorgegebenen Emissionsziele beitragen[166]. Handlungsschwerpunkte liegen insoweit vorrangig im Energiesektor sowie im Bereich privater Haushalte/Gewerbe, Handel, Dienstleistungen. Einen Überblick über die wichtigsten Maßnahmenfelder gibt Tabelle 4.4-2, die hier noch einmal als Tabelle 7.2-1 wiedergegeben wird.

Tabelle 7.2-1 Überblick über die wichtigsten Maßnahmenfelder in den Reduktionsszenarien - Änderungen im Jahr 2030 gegenüber dem Modell-Basis-Szenario

		Reduktions-Szenario I	Reduktions-Szenario II
Umwandlung	**Reduktion (Mio. t)**	**158**	**201**
	Maßnahmen	• Rückgang der Stromproduktion um ca. 10% durch Einsparung in den Endverbrauchssektoren (z.B. weniger Elektroheizungen etc.) • Rückgang der Braunkohle- (-75%) und der Steinkohleverstromung (-90%) • Substitution von Kohlestrom durch Strom aus erdgasbefeuerten GuD-Kraftwerken • Mehr Fernwärme und KWK-Strom aus erdgasbefeuerten GuD-Kraftwerken, Substitution von kohlebasiertem KWK-Strom • Ausbau der Windenergie (On-Shore und Off-Shore) • Ausbau der Nahwärmeversorgung auf Basis von Erdgas und Biogas	• Rückgang der Stromproduktion um ca. 12% durch Einsparung in den Endverbrauchssektoren (z.B. weniger Elektroheizungen etc.) • Weiterer Rückgang der Kohleverstromung über die Einsparung des Reduktions-Szenarios I hinaus (bereits schon ab 2010) • Substitution von Kohlestrom durch Strom aus erdgasbefeuerten GuD-Kraftwerken, allerdings geringer als in Szenario I • Starker Ausbau von Biomasse- und Biogas KWK-Anlagen, die fossil befeuerte KWK-Anlagen ersetzen • Ausbau der Fern- und Nahwärmeversorgung, deutlicher Anstieg der Nah- und Fernwärmeproduktion • Ausbau der Windenergie und der Wasserkraft bis zur Ausschöpfung der Potenziale • Weiterer Ausbau der Nahwärmeversorgung auf Basis von Erd- und insbesondere Biogas
Industrie	**Reduktion (Mio. t)**	**2**	**10**
	Maßnahmen	• Rückgang der Nutzung von Braunkohle (-25%), Steinkohle (-5%) und Heizöl (-16%), Zuwachs bei Erdgas (+10%) und Biomasse (+10%) • Substitution von Steinkohle und Öl durch Biomasse bei der Prozessdampf- und – wärmeerzeugung	• Deutlicher Rückgang der Nutzung von Heizöl (-45%), Braunkohle (-25%) und Steinkohle (-10%), sehr starker Zuwachs bei Biomasse (+500%) • Substitution von Steinkohle und Öl durch Biomasse bei der Prozessdampf- und – wärmeerzeugung • Zusätzlicher Einsatz von Spar- und Superspartechniken in einigen Branchen (Investitionsgüter, Chemie, Zement, Kalk, Ziegel, Papier, Eisen/Stahl)

Fortsetzung Tabelle 7.2-1:

Haushalte	**Reduktion (Mio. t)**	**14**	**44**
	Maßnahmen	• Verbesserter Wärmeschutz innerhalb der Renovierungszyklen im Altbaubereich (Ein- und Mehrfamilienhäuser) mit einem Einsparungsvolumen von ca. 110 PJ/a • Brennstoffwechsel von Heizöl (-30%) zu Erdgas (+3%), sowie Fern- und Nahwärme (+15%), letzteres insbesondere in Neubauten • Gasbrennwertkessel ersetzen konventionellen Gas- und Ölzentralheizungen	• Massiv verstärkter Wärmeschutz innerhalb und auch außerhalb von Renovierungszyklen im Altbaubereich (Ein- und Mehrfamilienhäuser) mit einem Einsparungsvolumen von ca. 370 PJ/a • Verbesserter Wärmeschutz im Neubaubereich (Mehrfamilienhäuser) • Energieträgerwechsel von Heizöl (-65%) und Erdgas (-25%) zu Fern- und Nahwärme (+150%) • Verstärkter Einsatz von Gasbrennwertkesseln und Heizölbrennwertkesseln, wo keine Substitution durch Gas möglich ist
Kleinverbraucher/GHD	**Reduktion (Mio. t)**	**4**	**16**
	Maßnahmen	• Verbesserung des Wärmeschutzes im Bereich der Privaten Dienstleistungen (10% Einsparung) • Biomasse- und Biogasöfen ersetzen LPG-Öfen • Ölheizungen werden durch Fernwärmenutzung ersetzt	• Starke Verbesserung des Wärmeschutzes im Dienstleistungsbereich (20% Einsparung) • Verbesserung des Wärmeschutzes in den Bereichen Handwerk und Kleinindustrie (10% Einsparung), Land- und Forstwirtschaft (50% Einsparung) und Sonstige • Zubau elektrischer Wärmepumpen • Biomasse, Biogas und Erdgas verdrängen LPG beim Einsatz in Öfen fast vollständig • Substitution von Kohle und Öl im Heizungsbereich durch Fern- und Nahwärme (30% Zuwachs)
Verkehr	**Reduktion (Mio. t)**	**0**	**7**
	Maßnahmen		• Einsatz von effizienten Fahrzeugtypen, insbesondere im Güterverkehr • Substitution fossiler Kraftstoffe durch Biokraftstoffe • diverse andere Detailmaßnahmen
CO_2-Reduktion über alle Sektoren (Mio. t)		**176**	**277**
Anmerkungen: Die Ermittlung der Emissionsminderung erfolgte auf Basis der Systematik der AG Energiebilanzen Abweichung zwischen Einzelwerten und Summe ergeben sich aufgrund von Rundungen			

Schon aus dieser Übersicht geht hervor, dass auch in den Sektoren Verkehr und Industrie eine Reihe von Maßnahmen zur Minderung der CO_2-Emissionen existiert. Eine detailliertere Darstellung der in den einzelnen Sektoren maßgeblichen Handlungsmöglichkeiten liefern die in Kapitel 5 enthaltenen Aussagen. Je mehr es gelingt, die dort für Verkehr wie Industrie angesprochenen Minderungsnahmen umzusetzen, umso eher werden bei den vorgegebenen Gesamtminderungszielen in der Energiewirtschaft und bei den haushalten bzw. im Bereich Gewerbe, Handel, Dienstleistungen eingriffsschwächere Maßnahmen möglich sein.

[166] Zur Bewertung der Rolle des Verkehrssektors bei den Modellrechnungen vgl. Kapitel 4.

8 Zusammenfassung und politische Schlussfolgerungen (DIW Berlin)

8.1 Überblick über die Szenarien

Ziele der Untersuchung

Mit der hier vorliegenden Untersuchung wurden zwei Ziele verfolgt:

- Erstens wurden mit Blick auf den nächsten Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe „CO_2-Reduktion“ (IMA-CO_2) die im Nationalen Klimaschutzprogramm vom 18. Oktober 2000 enthaltenen sowie die neueren klimaschutzpolitischen Maßnahmen hinsichtlich ihrer emissionsreduzierenden Wirkungen bis zum Jahre 2010 analysiert und bewertet.

- Zweitens sind bis zum Jahr 2030 reichende langfristige Szenarien der Emissionsentwicklung für eine auf vorgegebene Emissionsminderungsziele abgestellte Klimaschutzpolitik beschrieben und Handlungsempfehlungen für deren Umsetzung erarbeitet worden.

Zielerreichung im Jahre 2010?

Gemessen an dem von der Bundesregierung im Rahmen des europäischen „burden sharing“ verpflichtend zugesicherten Ziel, die Treibhausgasemissionen bis zur ersten Kyoto-Verpflichtungsperiode um 21 % bezogen auf das „gemischte“ Basisjahr 1990/1995 zu reduzieren, können die Wirkungen der von der Bundesregierung seit 1998 ergriffenen Maßnahmen durchaus als beachtlich bezeichnet werden. So dürften die Treibhausgasemissionen im Jahre 2010 im sog. „Mit-Maßnahmen-Szenario“ um nahezu 109 Mio. t geringer ausfallen als sie ohne die im Einzelnen untersuchten Maßnahmen („Ohne-Maßnahmen-Szenario“) sein würden. Von dieser Reduktion entfallen rund 70 % auf die CO_2-Emissionen und entsprechend 30 % auf die anderen fünf Treibhausgase. Insgesamt würde dies für sich genommen eine Emissionsminderung um 20 % bedeuten, das 21 %-Ziel würde damit noch nicht gänzlich erreicht, sondern um knapp 13 Mio. t CO_2-Äquivalente oder um ein Prozentpunkt verfehlt (Tabelle 8.1-1). Vor diesem Hintergrund ist nicht damit zu rechnen, dass die Erreichung des Emissionszieles für 2010 ohne zusätzliche klimaschutzpolitische Maßnahmen gelingen könnte.

Tabelle 8.1-1 Entwicklung der Treibhausgasemissionen bis 2010 im Mit-Maßnahmen-Szenario (Referenz-Szenario) und im Ohne-Maßnahmen-Szenario

Sektoren	Ist-Werte (unbereinigt)				Mit-Maßnahmen-Szenario (=Referenzszenario)				Wirkung der Einzelmaßnahmen	Ohne-Maßnahmen-Szenario		
	1990/ Basis-jahr	2000[1)]	2001[1)]	2002[1)]	2010[2)]	90/02[1)]	02[1)]/10	90/10		2010	02[1)]/10	90/10
	CO_2-Emissionen in Mio. t					Veränderungen in %			Mio. t CO_2-Äquivalente		Veränderungen in %	
Industrie	169,3	116,0	112,6	109,1	110,5	-35,6	1,3	-34,7	7,0	117,4	7,6	-30,6
GHD	90,5	59,2	63,0	59,0	57,9	-34,8	-1,9	-36,0	10,2	68,1	15,3	-24,8
Haushalte[3)]	129,0	116,0	129,9	119,9	129,8	-7,1	8,3	0,6	18,6	148,4	23,8	15,0
Verkehr (national)	158,8	178,4	174,6	172,6	184,8	8,7	7,0	16,3	13,5	198,3	14,9	24,8
Summe Endenergiesektoren	547,6	469,6	480,0	460,6	482,9	-15,9	4,8	-11,8	49,3	532,2	15,5	-2,8
Energiesektor	439,2	361,1	369,1	373,0	352,8	-15,1	-5,4	-19,7	17,7	370,5	-0,7	-15,6
Insgesamt	986,8	830,7	849,1	833,6	835,7	-15,5	0,3	-15,3	67,0	902,7	8,3	-8,5
Materialeffizienz und -substitution[4)]	-	-	-	-	-	-	-	-	8,0	8,0		
Summe energiebedingte Emissionen	986,8	830,7	849,1	833,6	835,7	-15,5	0,3	-15,3	75,0	910,7	9,2	-7,7
Prozessbedingte Emissionen[5)]	27,6	26,1	24,4	24,4	24,4	-11,6	0,0	-11,6	1,0	25,4	4,3	-7,8
Summe CO_2-Emissionen	1014,4	856,8	873,5	858,0	860,1	-15,4	0,2	-15,2	76,0	936,1	9,1	-7,7
Summe Nicht-CO_2-Emissionen[6)]	231,2	153,8	151,3	150,5	140,8	-34,6	-6,9	-39,1	32,8	173,6	15,3	-24,9
Summe Treibhausgasemissionen[7)]	1250,6	1010,6	1024,8	1008,5	1000,9	-18,1	-2,3	-20,0	108,8	1109,7	10,0	-11,3
Nachr.: Summe Treibhausgasemissionen nach Nationalem Inventar 2004	1251,7	1014,1	1025,6	1014,6								

Anmerkung:
Datenbasis der Szenario-Berechnungen der CO_2-Emissionen bis 2010 waren die CO_2-Emissionen nach dem Nationalen Inventarbericht 2003 und (für die Jahre 1999 bis 2001) DIW Berlin ; Abweichungen zu den aktuellen Ergebnissen aus dem Nationalen Inventarbericht 2004 sind nur marginal und verzerren das Ergebnis nicht.
[1)] Vorläufige Angaben. [2)] Siehe dazu Übersichten für die einzelnen Sektoren.- [3)] Einschließlich des den Haushalten zugerechneten CO_2-Emissionsminderungsbeitrags der erneuerbaren Energieträgern bei Wärmeanwendungen im Jahre 2010 (7 Mio. t CO2).- [4)] Wirkungen der höheren Materialeffizienz und -substitution im Mit-Maßnahmen-Szenario im Jahr 2010 in allen Sektoren enthalten. - [5)] Angaben für 2002 geschätzt (2002 = 2001).- [6)] Nicht-CO_2-Emissionen nach dem Nationalen Inventarbericht 2004; Jahresangaben.- [7)] Summe Treibhausgasemissionen aus CO_2-Emissionen (vgl. Anmerkung) und Nicht-CO_2-Emissionen (vgl. Fußnote 6); Basisjahr für CO_2, CH_4 und N_2O ist 1990, für HFC, PFC und SF_6 ist es 1995.
Quellen: Umweltbundesamt, Nationale Inventarberichte 2003 und 2004; AG Energiebilanzen; FZJ; Fhg-ISI; Öko-Institut; DIW Berlin.

Zu der maßnahmenbedingten Gesamtminderung der CO_2-Emissionen (Differenz zwischen dem Ohne-Maßnahmen- und dem Mit-Maßnahmen-Szenario) trägt vor allem der Energiesektor selbst bei, aber auch die Endenergiesektoren Verkehr, Haushalte und der GHD-Sektor sind daran in erheblichem Umfang beteiligt. Am geringsten sind die absoluten Maßnahmenwirkungen in der Industrie. Hervorzuheben ist, dass allein durch die Förderung des Einsatzes erneuerbarer Energien die CO_2-Emissionen bis 2010 schätzungsweise um 38 Mio. t reduziert werden. Erheblich ist auch der maßnahmenbedingte Emissionsminderungsbeitrag der übrigen fünf Treibhausgase, der mit fast 33 Mio. t CO_2-Äquivalente zu Buche schlägt.

Längerfristige klimaschutzpolitische Ziele

Offizielle klimaschutzpolitische Ziele sind über die erste Kyoto-Verpflichtungsperiode 2008/2012 hinaus von der Bundesregierung bisher nicht fixiert worden. Im Koalitionsvertrag

heißt es dazu lediglich: „Deutschland wird seine Vorreiterrolle beim internationalen Klimaschutz weiter offensiv wahrnehmen. Wir werden vorschlagen, dass die EU sich im Rahmen der internationalen Klimaschutzverhandlungen für die zweite Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls bereit erklärt, ihre Treibhausgase bis zum Jahr 2020 um 30 % (gegenüber dem Basisjahr 1990) zu reduzieren. Unter dieser Voraussetzung wird Deutschland einen Beitrag von minus 40 % anstreben.“ (Koalitionsvertrag, 2002).

In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurden im Rahmen dieser Untersuchung bis zum Jahr 2020 CO_2-Emissionsminderungen um 30 % und 40 % und bis zum Jahr 2030 um 40 % und 50 % vorgegeben.

Die Szenarien bis 2030

Im Einzelnen lassen sich die beiden Reduktionsszenarien wie folgt charakterisieren:

- Das *Reduktions-Szenario I* mit dem Ziel einer Minderung der energiebedingten CO_2-Emissionen bis zum Jahr 2020 um 30 % und bis zum Jahr 2030 um 40 % relativ zum Jahr 1990 ist als Basis für die Beschreibung eines „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenarios“ zu verstehen. Dieses Szenario beruht auf der Annahme, dass weitere Verpflichtungen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen in kontinuierlicher Abfolge ähnlich wie das Kyoto-Protokoll von einer wachsenden Anzahl von Schwellen- und Entwicklungsländern eingegangen werden. Allerdings verläuft der weltweite Einigungs- und Reduktionsprozess langsamer, als er zur Erreichung des Ziels einer Stabilisierung der CO_2-Konzentration in der Atmosphäre bei 450 bis 550 ppm – der Empfehlung vieler Vertreter der Klima- und Klimafolgenforschung - erforderlich wäre, um eine weltweite durchschnittliche Temperaturerhöhung von 2 °C nicht zu überschreiten (vgl. IPCC, 2000).

- Das *Reduktions-Szenario II* ist ein zielorientiertes Szenario mit einem ambitionierteren Reduktionspfad, der eine bessere weltweite Akzeptanz für eine Klimapolitik unterstellt, die sich zum Ziel gesetzt hat, die CO_2-Konzentration in der Atmosphäre bis Ende dieses Jahrhunderts bei etwa 450 bis 550 ppm zu stabilisieren und damit die globale durchschnittliche Temperaturerhöhung um 2 °C nicht zu überschreiten. Die vorgegebenen Reduktionsziele sind hierbei als Übergangsphase zu einer nachhaltigen Energieversorgung (2050: -80%) zu verstehen.

Als Vergleichsmaßstab zu diesen beiden Reduktionsszenarien dient ein sog. *Modell-Basis-Szenario*, bei dem unter Berücksichtigung einer Reihe von Begrenzungen („bounds“), aber ohne eine Vorgabe eines CO_2-Reduktionszieles die kostenoptimale Struktur des Energiesystems ermittelt wird.

Rahmendaten für die Szenarien

Die den Szenariorechnungen unterlegten demographischen, ökonomischen und technologischen Rahmenbedingungen beruhen im Wesentlichen auf Annahmen, die im IKARUS-Projekt erarbeitet wurden (vgl. Tabelle 8.1-2). Hierbei handelt es sich um einen konsistenten und abgestimmten Datensatz. Bei der Erarbeitung wurde insbesondere darauf geachtet, dass die Rahmendaten weitestgehend mit denjenigen kompatibel sind, die von der Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung“ (Enquete-Kommission 2002) verwendet worden sind.

Die demographische Entwicklung wird entsprechend der 2. Variante der Bevölkerungsentwicklung des Statistischen Bundesamtes (2000) angenommen. Demnach sinkt die Bevölkerung in den nächsten 30 Jahren um fast 4 Mio. auf rund 78 Mio. Einwohner. Dabei steigt die Rate, mit der die Zahl der Bevölkerung abnimmt, kontinuierlich. Allerdings nimmt aufgrund der geringeren Kinderzahlen je Familie, der höheren Lebenserwartung sowie des Trends zu Singlehaushalten die Zahl der privaten Haushalte zunächst noch deutlich zu und ist auch 2030 noch höher als 2000. Wegen der zunehmenden Zahl der Zweitwohnungen für berufstätige Pendler sowie der Rentnerhaushalte steigt die Zahl der Wohnungen noch stärker als diejenige der Haushalte, und zwar von etwa 36,8 Mio. (2000) auf reichlich 43 Mio. im Jahr 2030.

Tabelle 8.1-2 Demographische und gesamtwirtschaftliche Rahmendaten

	Einheit	Jeweilige Werte				Veränderungen in %/a		
		2000	2010	2020	2030	2000/10	2010/20	2020/30
Bevölkerung	Mio.	82,0	81,5	80,3	78,0	-0,06	-0,14	-0,30
Zahl der Haushalte	Mio.	37,5	38,5	38,8	38,1	0,26	0,08	-0,18
Personen je Haushalt	Anzahl	2,2	2,1	2,1	2,1	-0,32	-0,22	-0,12
Wohnungen	Mio.	36,8	39,6	41,6	43,1	0,74	0,48	0,35
Wohnungen je 1000 Haushalte	Anzahl	982,0	1030,0	1072,0	1131,0	0,48	0,41	0,53
Wohnungsfläche	Mio. m^2	3116,5	3408,6	3637,1	3838,6	0,90	0,65	0,54
Wohnungsfläche je Einw.	m^2	38,0	41,8	45,3	49,2	0,96	0,80	0,84
Wohnungsgröße EFH	m^2	106,0	108,3	110,6	113,4	0,22	0,21	0,25
Wohnungsgröße MFH	m^2	65,9	66,5	66,9	67,4	0,08	0,06	0,07
Erwerbspersonen	Mio.	37,5	37,3	37,0	34,9	-0,05	-0,09	-0,58
Bruttoinlandsprodukt (BIP)	Mrd. € (95)	1963,8	2366,7	2797,5	3189,6	1,88	1,69	1,32
BIP je Einwohner	€	23951,0	29039,0	34821,0	40903,0	1,94	1,83	1,62

Gleichzeitig nimmt die Wohnungsfläche von 3,1 Mrd. m^2 um gut 12 % auf reichlich 3,8 Mrd. m^2 zu. Das bedeutet eine Steigerung der durchschnittlichen Wohnfläche um 23 % von heute etwa 38 m^2 auf gut 49 m^2 im Jahr 2030.

Die Annahmen zur Wirtschaftsentwicklung wurden in Anlehnung an die Szenarien der Enquete-Kommission festgelegt. Danach wird für den Zeitraum von 2000 bis 2030 mit einem gesamtwirtschaftlichen Wachstum von 1,6 % pro Jahr (und mit abnehmenden Zuwachsraten im Zeitverlauf) gerechnet. Je Einwohner bedeutet das über diesen Zeitraum hinweg eine jahresdurchschnittliche Steigerungsrate von 1,8 %. Hinsichtlich der unterstellten Energiepreise wird von einer eher moderaten Entwicklung ausgegangen, wonach die realen Rohölpreise beispielsweise im Jahre 2030 sogar noch unter dem (sehr hohen) Niveau im Jahre 2000 liegen könnten. Zu weiteren Details der unterstellten Rahmenbedingungen vgl. Kapitel 4.2.

Daneben wurden den Modellrechnungen bestimmte Begrenzungen exogen vorgegeben. Dabei handelt es sich etwa um Mindestmengen der künftigen einheimischen Stein- und Braunkohlenförderung, um den Mindestumfang der installierten Leistung der Windkraftanlagen sowie um eine Abgangsordnung bei den Kernkraftwerken.

Wesentlich für die Interpretation der Szenarienergebnisse ist die Tatsache, dass allen Modellrechnungen ein identischer Satz der zuvor nur kurz skizzierten Rahmenbedingungen und Restriktionen vorgegeben worden ist. Möglichkeiten eines in einzelnen Szenarien abweichenden Verlaufs, etwa weil sich bei einem sehr ambitionierten Klimaschutzszenario, wie es das Reduktions-Szenario II darstellt, auch die energieverbrauchsbestimmenden Größen ändern könnten (z.B. geringere Wohnfläche je Einwohner, hubraumschwächere Fahrzeugflotte u.Ä.), werden nicht in Betracht gezogen, dürften in der Realität aber sicher eine Rolle spielen.

Ausgewählte Ergebnisse

Die zentralen Ergebnisse für die Entwicklung des Primärenergieverbrauchs und der CO_2-Emissionen sind Tabelle 8.1-3 und Tabelle 8.1-4 sowie Abbildung 8.1-1 und Abbildung 8.1-2 zu entnehmen.

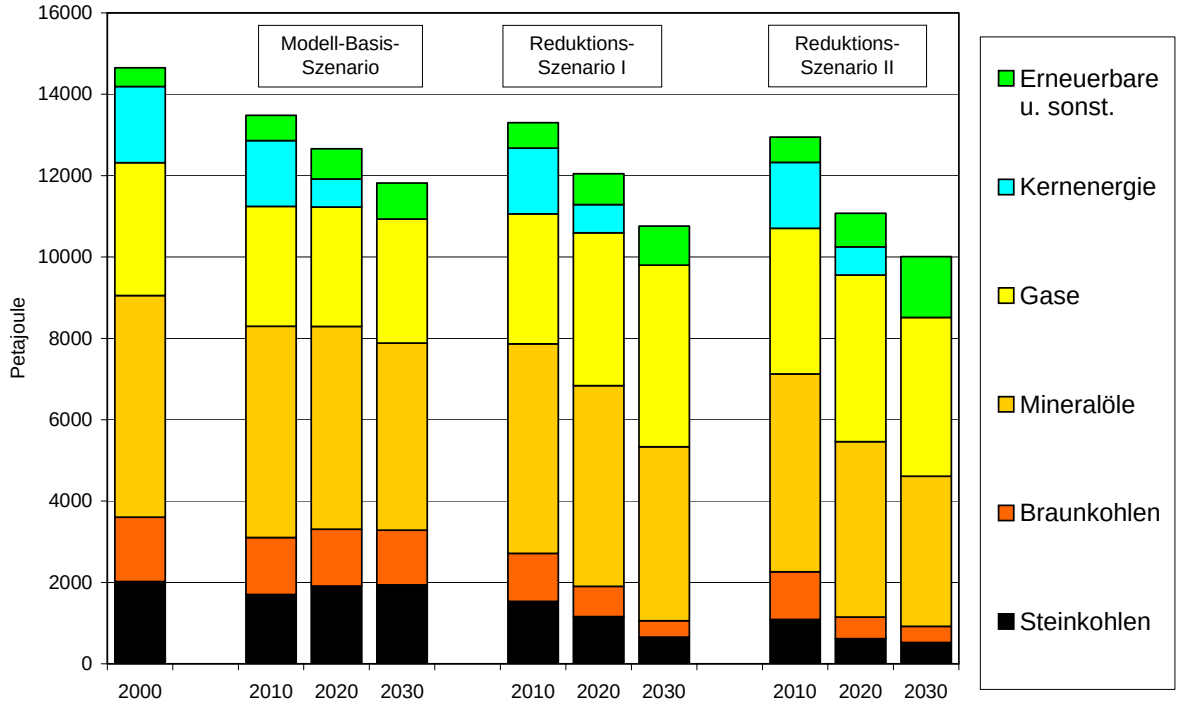
Tabelle 8.1-3 Primärenergieverbrauch im Modell-Basis-Szenario sowie in den Reduktionsszenarien I und II nach Energieträgern

	Ist*	Modell-Basis-Szenario			Reduktions-Szenario I			Reduktions-Szenario II		
	2000	2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030
	Primärenergieverbrauch in PJ									
Steinkohlen	2024	1702	1913	1941	1533	1158	661	1090	618	521
Braunkohlen	1581	1403	1400	1341	1181	747	400	1172	531	400
Mineralöle**	5446	5192	4977	4607	5152	4932	4274	4864	4310	3691
Gase	3268	2947	2937	3043	3195	3759	4464	3580	4098	3900
Kernenergie	1871	1617	693	0	1617	693	0	1617	693	0
Erneuerbare u.a	460	624	742	886	624	757	961	625	826	1499
Summe	14650	13487	12661	11817	13303	12047	10760	12949	11077	10010
	Struktur des Primärenergieverbrauchs in %									
Steinkohlen	14	13	15	16	12	10	6	8	6	5
Braunkohlen	11	10	11	11	9	6	4	9	5	4
Mineralöle**	37	38	39	39	39	41	40	38	39	37
Gase	22	22	23	26	24	31	41	28	37	39
Kernenergie	13	12	5	0	12	6	0	12	6	0
Erneuerbare u.a	3	5	6	7	5	6	9	5	7	15
Summe	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Veränderungen des Primärenergieverbrauchs gegenüber 2000 in PJ									
Steinkohlen	xxx	-16	-5	-4	-24	-43	-67	-46	-69	-74
Braunkohlen	xxx	-11	-11	-15	-25	-53	-75	-26	-66	-75
Mineralöle**	xxx	-5	-9	-15	-5	-9	-22	-11	-21	-32
Gase	xxx	-10	-10	-7	-2	15	37	10	25	19
Kernenergie	xxx	-14	-63	-100	-14	-63	-100	-14	-63	-100
Erneuerbare u.a	xxx	36	61	93	36	65	109	36	80	226
Summe	xxx	-8	-14	-19	-9	-18	-27	-12	-24	-32

* temperaturbereinigt ** ohne Auslandsluftverkehr Abweichungen in den Summen durch Rundungen.
Quellen: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 2002, Berechnungen FZJ-STE

Schon im Modell-Basis-Szenario kommt es bis 2030 zu einem spürbaren Rückgang des Primärenergieverbrauchs (-19 % gegenüber 2000); mit Ausnahme der erneuerbaren Energien betrifft dies alle Energieträger, insbesondere die Kernenergie wegen der Ausstiegsvereinbarung, aber auch die Braunkohle und das Mineralöl. In den Reduktionsszenarien sinkt der Primärenergieverbrauch bis 2030 um 27 % bzw. 32 %. Bei diesen klimaschutzpolitischen Szenarien geht die Reduktion in erster Linie zu Lasten der emissionsintensiven Energieträger Stein- und Braunkohle, deren Verbrauch im Jahr 2030 um drei Viertel niedriger ist als 2000. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass die Option der CO_2-Abtrennung und –Deponierung, die eine stärkere Verstromung von Stein- und Braunkohle auch unter klimaschutzpolitischen Kriterien ermöglichen könnte, modellseitig selbst unter den Voraussetzungen der beiden Reduktionsszenarien nicht in Lösung geht. “Gewinner“ sind in diesen beiden Szenarien neben den erneuerbaren Energieträgern vor allem das Erdgas.

Abbildung 8.1-1 Primärenergieverbrauch im Modell-Basis-Szenario sowie in den Reduktionsszenarien I und II nach Energieträgern



Quelle: Berechnungen FZJ-STE

Die CO_2-Emissionen nehmen wie der Primärenergieverbrauch schon im Modell-Basis-Szenario ab, und zwar bis 2030 im Vergleich zu 1990 um rund 230 Mio. t oder um rund 23 %. Absolut gesehen trägt hierzu der Energiesektor mit etwa 112 Mio. t - also mit fast der Hälfte - am meisten bei. In den Reduktionsszenarien werden die vorgegebenen Emissionsziele erreicht.

Interessant ist auch hier die sektorale Verteilung: Den mit Abstand größten absoluten wie relativen Beitrag leistet hierzu in beiden Fällen der Energiesektor, speziell die Elektrizitätswirtschaft. Im Reduktions-Szenario I folgen – gemessen an den absoluten Veränderungen - die Industrie, der Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) sowie die Haushalte. Im Reduktions-Szenario II ist der absolute Emissionsrückgang bei den privaten Haushalte nach dem Energiesektor und der Industrie am größten.

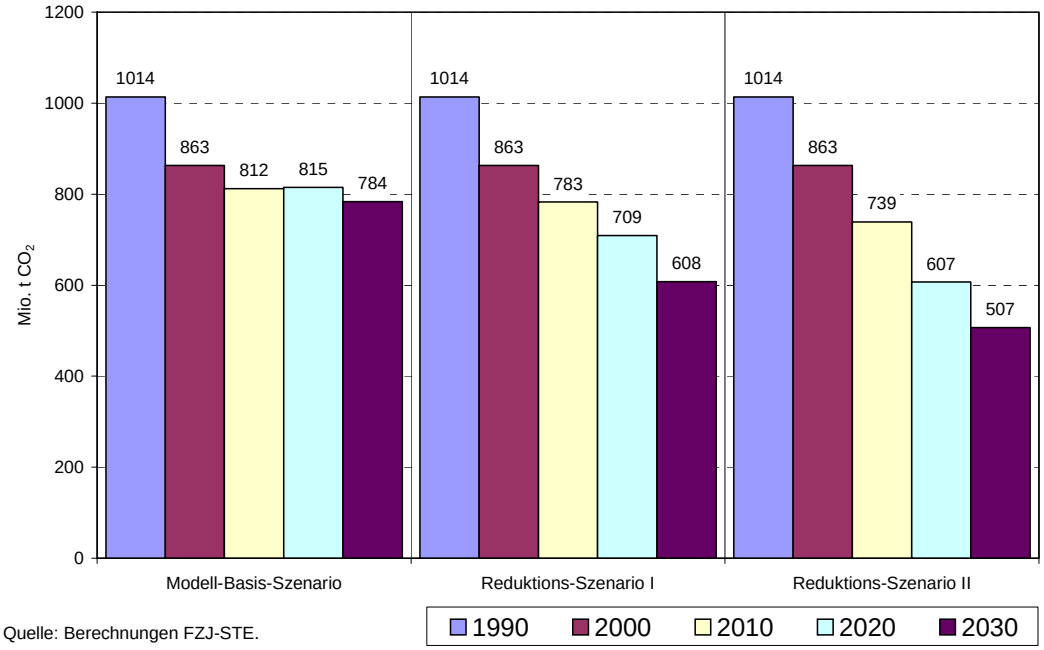
Umgekehrt erbringt der Verkehrssektor keinen Beitrag; zwar gehen hier die Emissionen in allen Fällen nach 2010 zurück, doch sind sie selbst im Jahre 2030 noch spürbar höher als 1990 (im Reduktions-Szenario I um 11 % und selbst im Reduktions-Szenario II noch um 7 %.

Tabelle 8.1-4 CO_2-Emissionen im Modell-Basis-Szenario sowie in den Reduktionsszenarien I und II nach Sektoren

	Ist-Werte*		Modell-Basis-Szenario			Reduktions-Szenario I			Reduktions-Szenario II		
	1990	2000	2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030
	CO_2-Emissionen in Mio. t										
Industrie	171	119	115	109	104	115	109	102	113	103	94
GHD	96	65	65	60	55	66	58	52	63	53	39
Haushalte	145	136	123	118	118	121	115	105	112	86	74
Verkehr	158	178	196	190	175	196	190	175	196	184	169
Summe Endenergie	570	498	499	478	452	498	472	433	484	427	376
Summe Umwandlung	443	365	312	337	331	284	238	174	256	180	131
Summe	1014	863	812	815	784	783	709	608	739	607	507
	Veränderung CO_2-Emissionen gegenüber 1990 in %										
Industrie	xxx	-30	-33	-36	-39	-33	-36	-40	-34	-40	-45
GHD	xxx	-32	-32	-37	-43	-31	-40	-46	-34	-44	-59
Haushalte	xxx	-6	-15	-18	-19	-17	-21	-28	-23	-41	-49
Verkehr	xxx	13	24	20	11	24	20	11	24	16	7
Summe Endenergie	xxx	-13	-12	-16	-21	-13	-17	-24	-15	-25	-34
Summe Umwandlung	xxx	-18	-30	-24	-25	-36	-46	-61	-42	-59	-70
Summe	xxx	-15	-20	-20	-23	-23	-30	-40	-27	-40	-50
	Veränderung CO_2-Emissionen gegenüber 1990 in Mio. t										
Industrie	xxx	-52	-56	-62	-67	-56	-62	-69	-58	-68	-77
GHD	xxx	-31	-31	-36	-41	-30	-38	-44	-33	-43	-57
Haushalte	xxx	-9	-22	-27	-27	-24	-30	-40	-33	-59	-71
Verkehr	xxx	20	38	32	17	38	32	17	38	26	11
Summe Endenergie	xxx	-72	-71	-92	-118	-72	-98	-137	-86	-143	-194
Summe Umwandlung	xxx	-78	-131	-106	-112	-159	-205	-269	-187	-263	-312
Summe	xxx	-151	-202	-199	-230	-231	-305	-406	-275	-407	-507
	Sektorale Anteile an den Veränderungen der CO_2-Emissionen gegenüber 1990 in %										
Industrie	xxx	34	28	31	29	24	20	17	21	17	15
GHD	xxx	21	15	18	18	13	12	11	12	10	11
Haushalte	xxx	6	11	13	12	10	10	10	12	14	14
Verkehr	xxx	-13	-19	-16	-7	-16	-10	-4	-14	-6	-2
Summe Endenergie	xxx	48	35	46	51	31	32	34	31	35	38
Summe Umwandlung	xxx	52	65	53	49	69	67	66	68	65	62
Summe	xxx	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Abweichungen inden Summen durch Rundungen.
* temperaturbereinigt.
Quelle: Berechnungen FZJ-STE

Abbildung 8.1-2 CO_2-Emissionen im Modell-Basis-Szenario sowie in den Reduktionsszenarien I und II nach Sektoren



Quelle: Berechnungen FZJ-STE.

Kosten in den Szenarien

Nach den Modellrechnungen ergeben sich in den beiden Reduktionsszenarien die in Tabelle 8.1-5 ausgewiesenen Vermeidungskosten im Vergleich zum Modell-Basis-Szenario.

Tabelle 8.1-5 Durchschnittliche Kosten und Grenzkosten der CO_2-Minderung

	Einheit	2010	2020	2030
Reduktions-Szenario I (-40%)				
CO_2-Minderung	Mio. t	30	106	176
Durchschnittliche Vermeidungskosten	€/t CO_2	5	<1	6
Grenzkosten	€/t CO_2	16	10	32
Jährlich Mehrkosten	Mrd. €	0,17	0,00	1,00
Kumulierte Mehrkosten	Mrd. €	13		
Kumulierte CO_2-Minderung	Mrd. t CO_2	2,34		
Durchschnittliche Vermeidungskosten	€/t CO_2	5,4		
Reduktions-Szenario II (-50%)				
CO_2-Minderung	Mio. t	73	208	277
Durchschnittliche Vermeidungskosten	€/t CO_2	20	25	50
Grenzkosten	€/t CO_2	32	96	308
Jährlich Mehrkosten	Mrd. €	1,45	5,18	13,95
Kumulierte Mehrkosten	Mrd. €	154		
Kumulierte CO_2-Minderung	Mrd. t CO_2	4,37		
Durchschnittliche Vermeidungskosten	€/t CO_2	35,2		

Die durchschnittlichen Vermeidungskosten sowie die jährlichen Mehrkosten sind im Reduktions-Szenario I wesentlich geringer als im Reduktions-Szenario II. Dies liegt insbesondere daran, dass hier die CO_2-Reduktion vorwiegend auf der massiven Substitution von Kohle durch Erdgas im Umwandlungsbereich beruht. Relativ kostengünstige und hocheffiziente GuD-Kraftwerke ersetzen Kohlekraftwerke, deren spezifische CO_2-Intensität sehr viel höher als die der erdgasbefeuerten Anlagen ist. Hierdurch können im wesentlichen die gesetzten Reduktionsziele des Szenarios I eingehalten werden. Dementsprechend niedrig liegen die spezifischen Vermeidungskosten im Reduktions-Szenario I. Dabei sollte aber berücksichtigt werden, dass bereits dem Modell-Basis-Szenario einige Minderungsmaßnahmen vorgegeben wurden, bei denen es sich nicht unbedingt um die kostengünstigsten Möglichkeiten handelt. Daher sind die Gesamtsystemkosten bereits im Modell-Basis-Szenario relativ hoch sind.

Eine Verschärfung der CO_2-Reduktionsziele auf 50 % bis zum Jahr 2030 erfordert weitergehende Maßnahmen als im Reduktions-Szenario I: Ein Wechsel („fuel switch) von Kohle zu Erdgas reicht in diesem Fall nicht alleine aus. Dies führt zu dem Einsatz von Einsparmaßnahmen, um die Kohlenstoffintensität des Energiesystems drastisch zu verringern und letztlich die Reduktionsziele einhalten zu können. Derartige Maßnahmen werden in allen Sektoren ergriffen und lassen die Kosten drastisch steigen.

Tabelle 8.1-6 enthält die jährlichen Mehrkosten aufgeschlüsselt nach Sektoren. Danach sind im Reduktions-Szenario I von den gesamten jährlichen Mehrkosten im Jahre 2030 in Höhe von 1 Mrd. € vor allem die Haushalte, die Industrie und der Primärsektor (wegen des zunehmenden Erdgaseinsatzes) betroffen; im Umwandlungssektor kann dagegen sogar eine Kosteneinsparung realisiert werden.

Im Reduktions-Szenario II sind die jährlichen Mehrkosten im Jahre 2030 mit 14 Mrd. € erheblich höher. Diese Mehrkosten gegenüber dem Modell-Basis-Szenario entsprechen etwa 0,4 % des für 2030 unterstellten Bruttoinlandsproduktes (3189 Mrd. €). Die jährlichen Mehrkosten im Sektor Haushalte erreichen im Reduktions-Szenario II 7,0 Mrd. €, was hauptsächlich auf Wärmedämmmaßnahmen im Altbaubereich zurückzuführen ist. Es folgen mit 2,2 Mrd. € der Primärsektor, mit 1,6 Mrd. € der Bereich GHD und mit jeweils rund 1 Mrd. € die übrigen Sektoren.

Hier sei noch einmal daran erinnert, dass die Abbildung des Verkehrssektors in einem gesamtwirtschaftlichen Optimierungsmodell mit einigen Problemen verbunden ist, weil

bestimmte, vor allem auch verhaltensbedingte Reaktionsparameter (zu denen beispielsweise auch die Kaufentscheidung für kleinere Fahrzeuge statt für sparsamere Fahrzeuge derselben Größenklasse zählt) ausgeklammert bleiben, so dass möglicherweise eine zu hohe Last von den anderen Sektoren getragen werden muss.

Tabelle 8.1-6 Sektorale Mehrkosten pro Jahr in den Reduktionsszenarien gegenüber dem Modell-Basis-Szenario

(Mrd. $€_{2000}$/a)	Reduktions-Szenario I (-40%)			Reduktions-Szenario II (-50%)		
	2010	2020	2030	2010	2020	2030
Primärsektor	0,1	0,5	0,4	-0,3	-1,4	2,2
Umwandlung	-0,2	-1,6	-0,8	-0,2	-1,1	1,0
Industrie	0,1	0,5	0,5	0,2	0,7	1,1
Verkehr	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	1,1
Haushalte	0,2	0,6	0,9	1,4	5,7	7,0
GHD	0,0	0,0	0,0	0,3	0,4	1,6
Summe	0,2	0,0	1,0	1,5	5,2	14,0

Hingewiesen werde sollte aber auch noch einmal an die Tatsache, dass derartige Kostenschätzungen aus unterschiedlichen Gründen mit großen Unsicherheiten behaftet sind: So stehen die Modellergebnisse generell unter dem Vorbehalt, dass alle künftig zur Verfügung stehenden Minderungsoptionen vollständig erfasst sind und dass ihre jeweiligen Kosten unter Berücksichtigung von technischem Fortschritt und Lerneffekten hinlänglich genau geschätzt sind. Hinzu kommt, dass in solchen Modellen technologische Substitutionen im Vordergrund stehen, während organisatorische und verhaltensbedingte Verbesserungen, die vielfach kostengünstiger sein dürften, nicht oder nur teilweise einbezogen werden. Insgesamt sollten daher die Kostenrelationen nicht überinterpretiert werden. Zur Problematik der Kostenaussagen vgl. auch die entsprechenden Ausführungen im Endbericht zum Forschungsvorhaben „Politikszenarien II“ (Ziesing et al, 1999, Kap. 4.5)

8.2 Politische Schlussfolgerungen

Nach der Analyse der Wirkungen der seit 1998 ergriffenen klimaschutzpolitischen Maßnahmen auf die Veränderungen der CO_2-Emissionen und unter Berücksichtigung der Entwicklung bei den Nicht-CO_2-Treibhausgasen kann das für das Jahr 2010 ein Emissionsniveau von rund 1000 Mio. t CO_2-Äquivalent erwartet werden; im Vergleich zum Basisjahr sind das 20 % weniger. Damit würde das für 2010 verpflichtend vereinbarte Ziel, die Treibhausgasemissionen insgesamt um 21 % zu reduzieren, nicht ganz erreicht. Will die Bundesregierung den Sanktionen aufgrund einer Nichterfüllung entgehen, muss sie folglich ihre klimaschutz-

politischen Maßnahmen intensivieren. Allerdings muss auch darauf hingewiesen werden, dass der Abstand zum Ziel vergleichsweise gering ist (1 Prozentpunkt oder knapp 13 Mio. t CO_2-Äquivalente).

Dies gilt nicht mehr, wenn man von langfristig wesentlich verschärften CO_2-Minderungszielen wie in den beiden hier untersuchten Reduktionsszenarien ausgeht. Zwar haben die Szenarien gezeigt, dass es technisch-wirtschaftliche Lösungsmöglichkeiten gibt, die vorgegebenen Ziele einer Senkung der CO_2-Emissionen bis zum Jahr 2030 um 40 % bzw. um 50 % zu erreichen, wie weit sich diese Szenarien aber in die Realität übersetzen lassen, hängt entscheidend von der Durchsetzung der dazu erforderlichen klimaschutzpolitischen Maßnahmen ab.

Voraussetzung für den entsprechenden politischen Willen wird es sein, ob sich die Bundesregierung in einem breiten gesellschaftlichen Konsens auch tatsächlich auf derartige Reduktionsziele wird verständigen können. Vermutlich wird man auch nur dann Akzeptanz für die Umsetzung der notwendigen Maßnahmen finden können.

Ebenso wie mit den Szenarien gezeigt werden konnte, dass zumindest aus technischer Sicht ausreichende Möglichkeiten zur vorgegebenen Reduktion der CO_2-Emissionen bestehen, so lassen die für die einzelnen Sektoren diskutierten politischen Maßnahmen die Wege zu ihrer Realisierung erkennen.

Die hier vorliegende Untersuchung erlaubt zwei wesentliche Schlussfolgerungen:

1. Alle Sektoren müssen ihren Beitrag zu den vorgegebenen Reduktionszielen leisten, um die Eingriffsintensität der politischen Maßnahmen so gering wie möglich zu halten. Eine weitgehende Ausblendung des Verkehrssektors, wie es die „reinen“ Modellrechnungen nahe legen könnten, ist damit nicht vereinbar.

2. Eine Klimaschutzpolitik zur Umsetzung der angestrebten Reduktionsszenarien darf sich nicht nur auf einzelne Maßnahmen stützen, vielmehr muss sie sich eines breiten Bündels von Maßnahmen bedienen, das neben global wirkenden Instrumenten auch sektor-, zielgruppen- und technologiespezifische Instrumente umfasst. Dabei sollten die politisch zu schaffenden Anreizstrukturen so weit wie möglich auch ökonomisch wirkende Hebel nutzen, da dies den Wirtschaftssubjekten die Art und Weise ihrer Anpassung überlässt, ohne die gewollten Lenkungswirkungen zu vernachlässigen.

Bei der Bewertung der Reduktionsszenarien sollte nicht vergessen werden, dass den zusätzlichen Kosten der - die Reduktionszielsetzung überhaupt erst begründende – Nutzen des Klimaschutzes gegenübersteht. Damit verknüpft sich zugleich aber auch noch eine zusätzliche ökonomische Dimension insoweit, als eine Ausrichtung auf eine klimaverträgliche, nachhaltige Energieversorgung auch gesamtwirtschaftlich neue Aktivitätsfelder und Chancen eröffnet.

Literatur zu Kapitel 8

Enquete (2002), Enquete-Kommission "Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und Liberalisierung ": Endbericht. Deutscher Bundestag. Bundestags-Drucksache 14/9400. Berlin, 2002.

Diekmann, J. et al. (1998), Politikszenarien für den Klimaschutz. Untersuchungen im Auftrag des Umweltbundesamtes, Stein, G., Strobel, B. (Hrsg.), Band 3: Methodik-Leitfaden für die Wirkungsabschätzung von Maßnahmen zur Emissionsminderung, Studie von DIW, FhG-ISI, Forschungszentrum Jülich, Öko-Institut. Schriften des Forschungszentrums Jülich. Reihe Umwelt. Jülich 1998.

IPCC (2001), Climate Change 2001 - Mitigation: Contribution of Working Group III to TAR of the IPCC, Cambridge University Press, Cambridge

SPD Bündnis 90/Die Grünen. Koalitionsvertrag 2002 – 2006 (2002): Erneuerung – Gerechtigkeit – Nachhaltigkeit. Für ein wirtschaftlich starkes, soziales und ökologisches Deutschland. Für eine lebendige Demokratie. 16. Oktober 2002.

Ziesing, H.-J. et al. (1999), Politikszenarien für den Klimaschutz. Untersuchungen im Auftrag des Umweltbundesamtes, Stein, G., Strobel, B. (Hrsg.), Band 5: Szenarien und Maßnahmen von CO_2-Emissionen in Deutschland bis 2020, Studie von DIW, FhG-ISI, Forschungszentrum Jülich, Öko-Institut. Schriften des Forschungszentrums Jülich. Reihe Umwelt. Jülich 1999.