

Forschungszentrum Jülich GmbH  
Programmgruppe Systemforschung und  
Technologische Entwicklung

# **Politiksznarien für den Umweltschutz**

**Langfristszenarien und Handlungsempfehlungen ab 2012  
(Politiksznarien III)**

**Untersuchungen im Auftrag des Umweltbundesamtes**

Herausgegeben von Peter Markewitz und Hans-Joachim Ziesing

Jochen Diekmann, Rainer Hopf, Hans-Joachim Ziesing (Federführung)  
Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin

Manfred Kleemann, Volker Krey, Peter Markewitz, Dag Martinsen, Stefan Vögele  
Forschungszentrum Jülich GmbH, Programmgruppe Systemforschung und  
Technologische Entwicklung (STE), Jülich

Wolfgang Eichhammer, Eberhard Jochem, Wilhelm Mannsbart,  
Barbara Schlomann, Michael Schön, Martin Wietschel  
unter Mitarbeit von Anselm Brakhage  
Fraunhofer-Institut für Systemforschung und Innovationsforschung (Fh-ISI),  
Karlsruhe

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

Schriften des Forschungszentrums Jülich  
Reihe Umwelt/Environment

Band/Volume 50

---

ISSN 1433-5530

ISBN 3-89336-370-X

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>Ziele, Aufgabenstellung und Methodik der Untersuchung (DIW Berlin).....</b>	<b>1</b>
1.1	Vorbemerkungen.....	1
1.2	Der methodische Ansatz .....	2
1.3	Aufbau des Endberichts.....	5
<b>2</b>	<b>Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland seit 1990 und im Referenzszenario der Enquete-Kommission .....</b>	<b>7</b>
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 <sub>2</sub> -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
<b>3</b>	<b>Evaluation von Maßnahmen zur Minderung der sektoralen Treibhausgasemissionen – Ableitung eines „Mit-Maßnahmen-Szenarios für 2010“ .....</b>	<b>39</b>
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 <sub>2</sub> -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
<b>3.3</b>	<b>Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) (Fraunhofer ISI).....</b>	<b>79</b>
3.3.1	Überblick über die Maßnahmen .....	79
3.3.2	Zur Quantifizierung der CO <sub>2</sub> -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
<b>3.4</b>	<b>Haushalte.....</b>	<b>88</b>
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 <sub>2</sub> -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 <sub>2</sub> -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
<b>3.5</b>	<b>Verkehr (DIW Berlin).....</b>	<b>120</b>
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

<b>3.6</b>	<b>Veränderte Energiedienstleistungen durch Materialrecycling, Re-Use, verbesserte Materialeffizienz, Materialsubstitution und Intensivierung der Produktnutzung (Fraunhofer ISI).....</b>	<b>157</b>
<b>3.7</b>	<b>Nicht-energetischer Verbrauch und Speicher-, Transport- und Verteilungsverluste.....</b>	<b>168</b>
3.7.1	Maßnahmen im Bereich des nicht-energetischen Verbrauchs (Fraunhofer ISI).....	168
3.7.2	Fackel-, Transport- und Verteilungsverluste (DIW Berlin).....	173
<b>3.8</b>	<b>Energiesektor (DIW-Berlin).....</b>	<b>175</b>
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
<b>3.9</b>	<b>Erneuerbare Energien (DIW Berlin).....</b>	<b>197</b>
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 <sub>2</sub> -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 <sub>2</sub> -Emissionsminderung durch erneuerbare Energien mit und ohne Maßnahmen .....	244
3.9.6.6	Ausblick auf das Jahr 2020 .....	245

<b>3.10</b>	<b>Nicht-energiebedingte Treibhausgasemissionen .....</b>	<b>252</b>
3.10.1	Nicht-CO <sub>2</sub> -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 <sub>4</sub> ) .....	253
3.10.1.2.2	Distickstoffoxid (N <sub>2</sub> O) .....	263
3.10.1.2.3	„F-Gase“ (H-FKW, CF <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> , SF <sub>6</sub> ) .....	264
3.10.2	Nicht-energiebedingte CO <sub>2</sub> -Emissionen (Öko-Institut): .....	271
<b>3.11</b>	<b>Zusammenfassung der Wirkungen der Klimaschutzpolitischen Maßnahmen: Das „Mit-Maßnahmen-Szenario“ sowie das „Ohne-Maßnahmen-Szenario“ für das Jahr 2010 (DIW Berlin) .....</b>	<b>276</b>
<b>3.12</b>	<b>Exkurs: Schätzung des modifizierten Referenzszenarios der Enquete-Kommission für die Jahre 2010 und 2020 (DIW Berlin) .....</b>	<b>279</b>
3.12.1	Vorbemerkungen .....	279
3.12.2	Ergebnisse: Tabellen zum Energieverbrauch und zu den CO <sub>2</sub> - Emissionen im (modifizierten) Referenzszenario nach Sektoren für die Jahre 2010 und 2020 .....	280
<b>4</b>	<b>Modellgestützte Szenarien für den Klimaschutz (FZJ-STE) .....</b>	<b>285</b>
<b>4.1</b>	<b>Charakterisierung des Optimierungsmodells .....</b>	<b>285</b>
<b>4.2</b>	<b>Rahmendaten für die Modellszenarien .....</b>	<b>285</b>
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
<b>4.3</b>	<b>Referenzszenario und Modell-Basis-Szenario .....</b>	<b>295</b>
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
<b>4.4</b>	<b>Die Reduktionsszenarien .....</b>	<b>306</b>
<b>4.5</b>	<b>Kostenaspekte der Emissionsminderung .....</b>	<b>316</b>
4.5.1	Vorbemerkungen .....	316
4.5.2	Kosten der CO <sub>2</sub> -Minderungen .....	317
<b>4.6</b>	<b>Sensitivitätsanalysen .....</b>	<b>320</b>
<b>4.7</b>	<b>Anhang: Vergleich der Modelldaten mit den Angaben der Energie- und Emissionsstatistik .....</b>	<b>331</b>

<b>5</b>	<b>Sektorale Emissionsentwicklungen und politische Maßnahmen zur Umsetzung der CO<sub>2</sub>-Reduktionsszenarien.....</b>	<b>336</b>
<b>5.1</b>	<b>Vorbemerkungen (DIW Berlin).....</b>	<b>336</b>
<b>5.2</b>	<b>Industrie (Fraunhofer ISI).....</b>	<b>337</b>
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 <sub>2</sub> -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
<b>5.3</b>	<b>Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (Fraunhofer ISI).....</b>	<b>358</b>
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
<b>5.4</b>	<b>Haushalte.....</b>	<b>367</b>
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 <sub>2</sub> -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 Stromverbrauches 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

<b>5.5</b>	<b>Verkehr (DIW Berlin).....</b>	<b>399</b>
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
<b>5.6</b>	<b>Zusätzlich veränderte Dienstleistungen (Fraunhofer ISI).....</b>	<b>420</b>
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
<b>5.7</b>	<b>Nicht-energetischer Verbrauch (Fraunhofer ISI) .....</b>	<b>426</b>
<b>5.8</b>	<b>Energiesektor (DIW Berlin) .....</b>	<b>428</b>
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
<b>5.9</b>	<b>Erneuerbare Energien (DIW Berlin).....</b>	<b>441</b>
5.9.1	Langfristszenarien zur Entwicklung erneuerbarer Energien .....	441
5.9.2	Politischer Handlungsbedarf und Instrumentenwahl .....	448
<b>5.10</b>	<b>Nicht-energiebedingte Treibhausgasemissionen .....</b>	<b>464</b>
5.10.1	Nicht-CO <sub>2</sub> -Treibhausgasemissionen (Fraunhofer ISI) .....	464
5.10.2	Nicht-energiebedingte CO <sub>2</sub> -Emissionen (Öko-Institut) .....	469
<b>6</b>	<b>Internationaler Emissionsrechte- und Emissionsgutschriftenhandel als klimaschutzpolitische Maßnahme (Fraunhofer ISI) .....</b>	<b>472</b>
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

<b>7</b>	<b>Zusammenfassende Betrachtung der Reduktionsszenarien im Vergleich zum Modell-Basis- und zum Referenz-Szenario (DIW Berlin).....</b>	<b>486</b>
7.1	Die Szenarien im Überblick .....	486
7.2	Wertung der Szenarien .....	487
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und politische Schlussfolgerungen (DIW Berlin) .....</b>	<b>490</b>
8.1	Überblick über die Szenarien .....	490
8.2	Politische Schlussfolgerungen.....	500