

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES  
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,  
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Förderkennzeichen 206 42 106  
UBA-FB 001308

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

**Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030**

**Deutsche Kurzfassung / English-language Summary**

von

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

Öko-Institut, Institut für Angewandte Ökologie

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

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

**Jochen Diekmann, Manfred Horn**

Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW Berlin)

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

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

**Hans-Joachim Ziesing**

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

**UMWELTBUNDESAMT**

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

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

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

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

Dessau-Roßlau, Oktober 2009

## Zusammenfassung

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

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

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

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

### **Rahmendaten**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### **Entwicklung des Energiebedarfs**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### **Emissionsentwicklung**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- die Änderung des Kraftwerkbetriebs mit 21 Mio. t CO<sub>2</sub>,
- die Ausdehnung der LKW-Maut auf alle Fernstraßen sowie auf kleinere Fahrzeugklassen ab 3,5 t zGG mit bis zu 11 Mio. t CO<sub>2</sub>,
- die Stärkung des Vollzugs der EnEV mit 9 Mio. t CO<sub>2</sub>,
- die Weiterführung und Verschärfung der Emissionsvorgaben im Rahmen der europäischen CO<sub>2</sub>-Strategie für Personenkraftwagen mit 9 Mio. t CO<sub>2</sub>;
- die Ausweitung der Nachrüstungsverpflichtungen für Gebäude mit 7 Mio. t CO<sub>2</sub>;
- die Mehrwertsteuererleichterungen für energetische Sanierungsmaßnahmen an Gebäuden mit 6 Mio. t CO<sub>2</sub>;
- die Förderung des Wärme-Contracting mit 6 Mio. t CO<sub>2</sub>;
- sowie die Einführung des WärmeEEG für größere Solar- und Biomasseanlagen mit 6 Mio. t CO<sub>2</sub>.

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

## Executive Summary

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

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

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

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

### Framework data

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

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

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

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

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

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

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

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

## Development of energy requirement

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### **Development of emissions**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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