

## 4 Potenziale und Szenarien für die Entwicklung in Deutschland<sup>1</sup>

### 4.1 Einleitung

(453) 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 bis zum Jahr 2050 führen mag. Ein solches Szenario, das im Auftrag der Kommission in einer Kooperation der Prognos AG, dem IER Stuttgart und dem Wuppertal Institut erarbeitet wurde, wird im Kapitel 4.2 präsentiert und diskutiert. Dieses Szenario dient als Referenz für drei, von ihrem Charakter her unterschiedlich definierten Zielszenarien, über deren Annahmen und Ergebnisse im Kapitel 5 berichtet wird.

(454) Insbesondere für die Abschätzung der künftigen Bandbreiten, Möglichkeiten, Gestaltungsoptionen und Entwicklungsperspektiven energiewirtschaftlicher Veränderungen ist die Kenntnis der nachfrage- und angebotsseitigen Potenziale zentral. Dabei geht es vor allem um die Analyse der hier existierenden und absehbaren Potenziale und Optionen der rationellen Energienutzung und Energiebereitstellung sowie um die Einsatzchancen insbesondere von erneuerbaren Energiequellen. Diesen Fragen nachzugehen, wird die Aufgabe des Abschnitts 4.3 sein. Dieser Abschnitt konzentriert sich in erster Linie auf die Einschätzung der technischen Potenziale, gibt aber gleichzeitig – soweit es schon in diesem Zusammenhang sinnvoll ist – Hinweise auf spezifische Hemmnisse bei der Ausschöpfung dieser Potenziale und auf Handlungsmöglichkeiten zu ihrer Überwindung.

(455) Die Einschätzung von technischen Potenzialen ist nur auf einer stark disaggregierten Ebene sinnvoll möglich. Dazu wurde analog zur sektoralen Struktur der Energiebilanzen unterschieden zwischen den Bereichen:

---

<sup>1</sup> Minderheitsvotum der Kommissionsmitglieder von CDU/CSU und FDP:

Fundamentale Kritik besteht hinsichtlich der Ergebnisse einzelner Unterkapitel, die für die Prosperität der Volkswirtschaften von großer Bedeutung sind wie z.B. der Verkehrsbereich, der Umwandlungssektor und die Potenzialeinschätzung der erneuerbaren Energien – vgl. hierzu Minderheitsvotum insbesondere Kapitel 4.

- Private Haushalte (Kapitel 4.3.1),
- Industrie (Kapitel 4.3.2),
- Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) (Kapitel 4.3.3),
- Verkehr (Kapitel 4.3.4),
- Energieumwandlung (Kapitel 4.3.5)

sowie sektorübergreifend

- Erneuerbare Energieträger im Strom- und Wärmemarkt (Kapitel 4.3.6),
- Steuerungs- und Regelungstechnik (Kapitel 4.3.7) und
- Kreislaufwirtschaft und bessere Material- und intensivere Produktnutzung (Kapitel 4.3.8).

(456) Ergänzt wird die Analyse der technischen Potenziale in den vorstehend genannten Bereichen um Überlegungen zu dem bisher noch wenig erforschten Feld der verhaltensbedingten Potenziale einer nachhaltigen Energienutzung (Kapitel 4.3.9).

(457) Einen Eindruck von der sektoralen Struktur des Energieverbrauchs in Deutschland gibt Tabelle 4–1. Danach war der Primärenergieverbrauch in Deutschland im Jahr 2000 um rund 5 % niedriger als 1990, wobei der größte Teil des Rückgangs schon Anfang der Neunzigerjahre eingetreten war. Seit 1991/1992 ist er im Großen und Ganzen unverändert geblieben.

**Tabelle 4–1: Entwicklung des Energieverbrauchs in Deutschland von 1990 bis 2000**

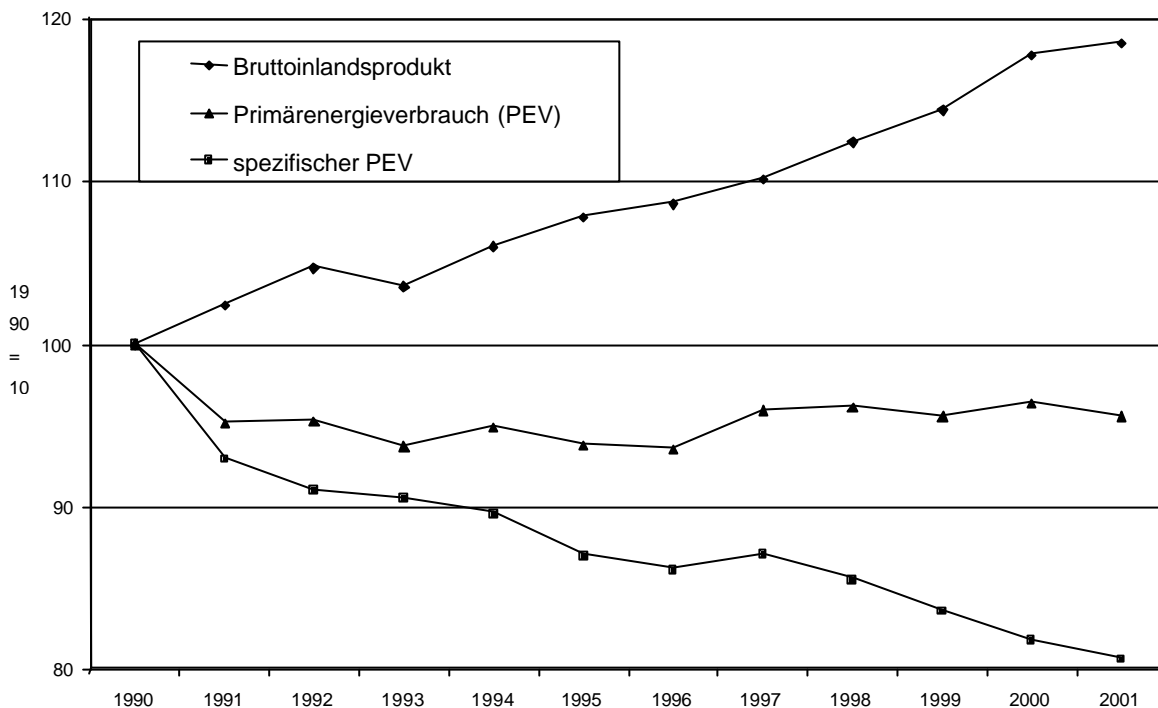
	1990	1995	2000	1990/00	1990/95	1995/00
	Energieverbrauch in PJ			Veränderungen in %		
Primärenergieverbrauch	14916	14269	14180	-4,9	-4,3	-0,6
Verbrauch und Verluste im Energiesektor, statistische Differenz	4513	3950	3886	-13,9	-12,5	-1,6
Nichtenergetischer Verbrauch	958	963	1096	14,4	0,5	13,8
Endenergieverbrauch	9441	9357	9197	-2,6	-0,9	-1,7
davon:						
Übr. Bergbau und verarb. Gewerbe	2977	2474	2430	-18,4	-16,9	-1,8
Verkehr	2379	2614	2745	15,4	9,9	5,0
Haushalte u. Gewerbe, Handel, Dienstleistungen <sup>1)</sup>	3946	4223	3999	1,3	7,0	-5,3
Haushalte	2383	2655	2550	7,0	11,4	-4,0
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen <sup>1)</sup>	1702	1614	1472	-13,5	-5,2	-8,8
	Anteil am Primärenergieverbrauch in %					
Verbrauch und Verluste im Energiesektor, statistische Differenz	30,3	27,7	27,4			
Nichtenergetischer Verbrauch	6,4	6,7	7,7			
Endenergieverbrauch	63,3	65,6	64,9			
	Anteil am Endenergieverbrauch in %					
Übr. Bergbau und verarb. Gewerbe	31,5	26,4	26,4			
Verkehr	25,2	27,9	29,8			
Haushalte u. Gewerbe, Handel, Dienstleistungen <sup>1)</sup>	41,8	45,1	43,5			
Haushalte	25,2	28,4	27,7			
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen <sup>1)</sup>	18,0	17,2	16,0			

<sup>1)</sup> Einschließlich militärische Dienststellen.

Quellen: AG Energiebilanzen; DIW.

(458) Es ist aber zu erkennen, dass sich der spezifische Primärenergieverbrauch –also das Verhältnis von Primärenergieverbrauch zu realem Bruttoinlandsprodukt – in nahezu allen Jahren verringert hat, dass also umgekehrt die Energieproduktivität gestiegen ist (Abbildung 4–1). Insgesamt war die Energieproduktivität im Jahr 2001 temperaturbereinigt um beinahe ein Viertel höher als 1990. Von 1990 bis 2001 war die jahresdurchschnittliche Steigerung der Energieproduktivität mit 2 % deutlich stärker als das mittlere jährliche Wirtschaftswachstum mit 1,6 %. Allerdings schlägt sich darin die ungewöhnlich hohe Produktivitätszunahme im Jahr 1990 nieder, die nur mit den drastischen Veränderungen im Zuge des energie- und gesamtwirtschaftlichen Einschnitts in den neuen Bundesländern zu erklären ist. Lässt man 1990 außer Betracht, so haben sich von 1991 bis 2001 das gesamtwirtschaftliche Wachstum (1,5 %/a) und die Energieproduktivität (1,4 %/a) nahezu parallel entwickelt.

Abbildung 4-1: Bruttoinlandsprodukt sowie absoluter und spezifischer Primärenergieverbrauch in Deutschland von 1990 bis 2001



Quellen: AG Energiebilanzen; Statistisches Bundesamt; DIW.

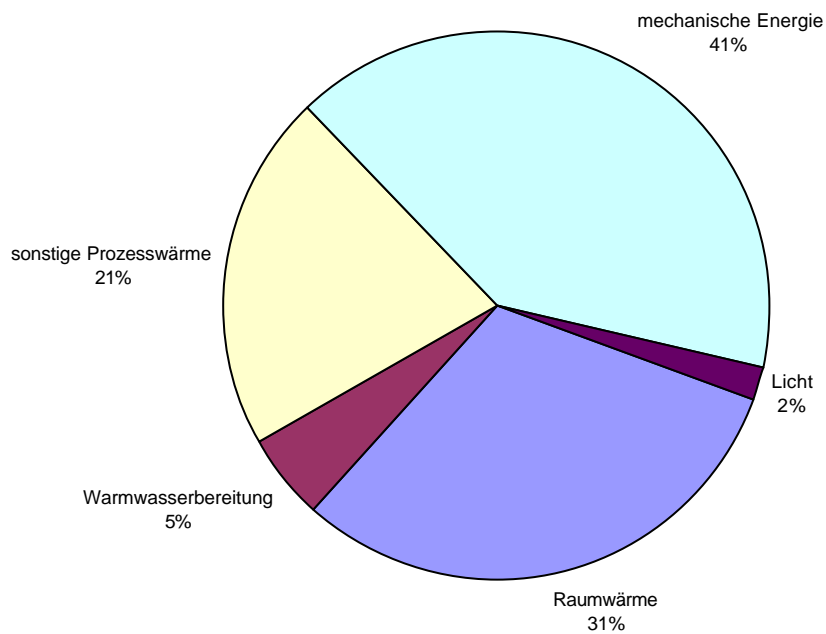
(459) Die sektorale Verbrauchsstruktur hat sich in den Neunzigerjahren deutlich verändert: Während der Energieverbrauch im Jahr 2000 insbesondere im Energiesektor sowie in der Industrie und im Bereich Gewerbe, Handel, Dienstleistungen wesentlich niedriger war als 1990, ist er vor allem im Verkehr, aber auch bei den privaten Haushalten zuletzt spürbar höher gewesen; zugelegt hat auch der nichtenergetische Verbrauch.

(460) Im Jahr 2000 entfielen auf den Verbrauch und die Verluste im Energiesektor fast 3 900 PJ oder reichlich 27 % des Primärenergieverbrauchs, weitere knapp 8 % auf den nichtenergetischen Verbrauch und rund 65 % auf den gesamten Endenergieverbrauch. Innerhalb der Endenergiesektoren ist der Verkehr mit einem Anteil von inzwischen fast 30 % am größten, gefolgt von den privaten Haushalten an zweiter und der Industrie an dritter Position; weit dahinter rangiert der Bereich Gewerbe, Handel, Dienstleistungen an vierter Stelle.

(461) Nach Anwendungszwecken strukturiert ragte im Jahr 2000 die mechanische Energie mit einem Anteil von rund zwei Fünfteln hervor, verursacht im Wesentlichen durch den Verkehrssektor. Es folgt die Raumwärme mit einem Anteil von fast einem Drittel (begründet vor allem durch den hohen Raumwärmeanteil bei den privaten Haushalten sowie im Bereich Gewerbe, Handel, Dienstleistungen) und die sonstige Prozesswärme (weitgehend

industriebedingt) mit reichlich einem Fünftel. Demgegenüber nimmt der Endenergieeinsatz für Warmwasserbereitung und Beleuchtung nur einen geringen Umfang ein (Abbildung 4–2).

Abbildung 4–2: Endenergieverbrauch insgesamt nach Anwendungszwecken in Deutschland im Jahr 2000



Quellen: AG Energiebilanzen; VDEW.

(462) Die Sektoralstruktur des Energieverbrauchs spiegelt sich in etwa auch in derjenigen der CO<sub>2</sub>-Emissionen: Der mit Abstand größte Emittent war der Energiesektor, gefolgt vom Verkehr, der Industrie, den Haushalten und dem Bereich Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (Tabelle 4–2).

Tabelle 4–2: CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland von 1990 bis 2000 nach Sektoren

	1990	1995	2000 <sup>1)</sup>	1990/00	1990/95	1995/00
	CO <sub>2</sub> -Emissionen in Mio.t			Veränderungen in %		
Energieerzeugung/-umwandlung	440,6	379,2	368,9	-16,3	-13,9	-2,7
dar.: Kraftwerke	354,7	320,2	315,2	-11,2	-9,7	-1,6
Industrie	169,7	127,0	119,4	-29,6	-25,2	-6,0
Verkehr (national) <sup>2)</sup>	158,0	172,5	178,3	12,8	9,2	3,4
dar.: Straßenverkehr	150,2	165,0	171,2	14,0	9,9	3,8
Haushalte	128,4	129,0	114,0	-11,2	0,4	-11,6
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen <sup>3)</sup>	90,4	68,4	60,1	-33,5	-24,4	-12,1
Summe energiebedingte Emissionen	987,2	876,1	840,8	-14,8	-11,3	-4,0
Industrieprozesse <sup>4)</sup>	27,7	26,6	26,5	-4,3	-3,8	-0,6
Gesamtemissionen	1014,8	902,7	867,3	-14,5	-11,0	-3,9
	Struktur der CO <sub>2</sub> -Emissionen in %					
Energieerzeugung/-umwandlung	43,4	42,0	42,5			
dar.: Kraftwerke	35,0	35,5	36,3			
Industrie	16,7	14,1	13,8			
Verkehr (national) <sup>2)</sup>	15,6	19,1	20,6			
dar.: Straßenverkehr	14,8	18,3	19,7			
Haushalte	12,7	14,3	13,1			
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen <sup>3)</sup>	8,9	7,6	6,9			
Summe energiebedingte Emissionen	97,3	97,0	96,9			
Industrieprozesse <sup>4)</sup>	2,7	3,0	3,1			
Gesamtemissionen	100,0	100,0	100,0			

<sup>1)</sup> Vorläufig. - <sup>2)</sup> Ohne internationalen Luftverkehr (80% des gesamten im Inland verbuchten Treibstoffverbrauchs im Luftverkehr). - <sup>3)</sup> Einschließlich militärischer Dienststellen. - <sup>4)</sup> Angaben lt. Umweltbundesamt (2000 geschätzt).

Quellen: Umweltbundesamt; Berechnungen des DIW.

(463) Wesentlich stärker als der gesamte Primärenergieverbrauch sind die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen gesunken: Im Jahr 2000 waren sie um rund 15 % niedriger als 1990, wobei die Emissionen besonders kräftig im Bereich Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, in der Industrie sowie in der Energieumwandlung und bei den Haushalten zurückgegangen sind; lediglich im Verkehrssektor waren sie erheblich höher. Erstmals nach 1994 ist es in diesem Sektor allerdings 2000 wieder zu einer Emissionsminderung gekommen. Auch für 2001 ist hier wiederum mit einem Rückgang zu rechnen.

(464) Die Veränderungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen werden entsprechend einer internationalen Übereinkunft grundsätzlich im Vergleich zum Basisjahr 1990 bewertet. Bekanntermaßen weist aber 1990 für Deutschland im Zusammenhang mit der gerade in diesem Jahr vollzogenen politischen Vereinigung und der damit verbundenen – auch energierelevanten – Effekte wesentliche Besonderheiten auf, die es bei der Bezugnahme von Veränderungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen auf dieses Datum zu beachten gilt. So spielte in der konsolidierten Energiebilanz für 1990 die emissionsintensive Braunkohle in Ostdeutschland noch eine sehr große Rolle und das Niveau des Energieverbrauchs war ebenfalls tendenziell überhöht. Beides hat sich mit dem Einbruch der industriellen Produktion in den neuen Bundesländern und speziell des ostdeutschen Braunkohlenbergbaus beinahe „über Nacht“ verändert: Der Primär- wie der Endenergieverbrauch gingen in den neuen Bundesländern im Jahr 1991 jeweils um etwa ein Viertel gegenüber 1990 zurück. Die Braunkohlenförderung wurde um

rund ein Drittel eingeschränkt, und der industrielle Endenergieverbrauch sank sogar um 40 %. Vor diesem Hintergrund ist es nicht verwunderlich, dass es Anfang der Neunzigerjahre zu einer erheblichen Reduktion auch der bundesweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen gekommen ist.

(465) Wenn nun aber die Emissionen in den späteren Jahren mit denjenigen im Jahr 1990 verglichen werden, besteht die Gefahr, die tatsächliche Tendenz des Emissionsrückganges zu überschätzen. Daher ist es für analytische Zwecke aussagekräftiger, die Werte nicht nur um Temperaturschwankungen zu bereinigen, sondern auch die ersten Jahre des Übergangs weitgehend außer Betracht zu lassen (Tabelle 4–3).

**Tabelle 4–3: Kennziffern zur Entwicklung von Primärenergieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland 1990 bis 2001 (temperaturbereinigte Werte)**

	Einheit	1990	1993	1995	2000 <sup>1)</sup>	2001 <sup>1)</sup>	Veränderungen 1990 bis 1993 in % p.a.	Veränderungen 1993 bis 2001 in % p.a.
Einwohner (Jahresdurchschnitt)	Mill.	79,4	81,2	81,7	82,1	82,3	0,8	0,2
Bruttoinlandsprodukt (BIP) zu Pr. von 1995	Mrd. DM	3268	3384	3523	3850	3873	1,2	1,7
BIP je Einwohner	1 000 DM	41,2	41,7	43,1	46,9	47,0	0,4	1,5
Primärenergieverbrauch (PEV)	Petajoule	15291	14331	14341	14733	14612	-2,1	0,2
PEV fossiler Energieträger	Petajoule	13501	12541	12424	12562	12436	-2,4	-0,1
Anteil emissionsfreier Energieträger am PEV	%	11,7	12,5	13,4	14,7	14,9		
Energiebedingte CO <sub>2</sub> -Emissionen	Mill. T	1013,5	894,5	880,6	867,3	860,8	-4,1	-0,5
PEV je Einwohner	Gigajoule	193	177	176	179	178	-2,9	0,1
CO <sub>2</sub> -Emissionen je Einwohner	t CO <sub>2</sub>	12,8	11,0	10,8	10,6	10,5	-4,8	-0,7
CO <sub>2</sub> -Gehalt der fossilen PEV	t CO <sub>2</sub> /TJ	75,1	71,3	70,9	69,0	69,2	-1,7	-0,4
Gesamtwirtschaftliche Energieintensität	TJ je Mrd. DM BIP	4679	4235	4071	3827	3773	-3,3	-1,4
Gesamtwirtschaftliche CO <sub>2</sub> -Intensität	t CO <sub>2</sub> je Mill. DM BIP	310	264	250	225	222	-5,2	-2,1

<sup>1)</sup> Angaben z.T. vorläufig.

Quellen: AG Energiebilanzen; Umweltbundesamt, Deutscher Wetterdienst; Statistisches Bundesamt; Berechnungen des DIW.

(466) Von der Minderung der temperaturbereinigten energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen von 1990 bis 2001 um fast 153 Mio. t oder um etwa 15 % fallen rund 119 Mio. t CO<sub>2</sub> – also etwa 78 % der Gesamtreduktion in den elf Jahren von 1990 bis 2001 – in die Zeit von 1990 bis 1993. Im Jahre 2001 waren die CO<sub>2</sub>-Emissionen also nur noch um knapp 34 Mio. t niedriger als 1993. Seit 1993 hat sich somit der Umfang der jährlichen Abnahme der CO<sub>2</sub>-Emissionen-Reduktion deutlich abgeschwächt; von 1993 bis 2001 gingen die CO<sub>2</sub>-Emissionen im jährlichen Mittel lediglich um kaum mehr als 4 Mio. t zurück. Deutlich und ohne Unterbrechung zurückgegangen ist dagegen die gesamtwirtschaftliche Emissionsintensität, also das Verhältnis von CO<sub>2</sub>-Emissionen zum realen Bruttoinlandsprodukt: Je Einheit des realen Bruttoinlandsprodukts (in Preisen von 1995) wurden 2001 reichlich 28 % weniger CO<sub>2</sub> emittiert als 1990; jahresdurchschnittlich bedeutet das über den Zeitraum von 1990 bis 2001 hinweg einen Rückgang der temperaturbereinigten Werte um 3 %. Von 1990 bis 1993 waren es 5,2 % pro Jahr, von 1993 bis 2001 aber nur 2,1 %.

## 4.2 Referenzszenario für Deutschland

### 4.2.1 Grundsätzliche Vorgaben

(467) Für eine hypothetische Referenzentwicklung der Energiewirtschaft bis 2050 wurden von der Kommission und den Gutachtern eine Reihe von Annahmen getroffen, die im Folgenden dargestellt werden. Grundsätzlich gilt dabei, dass für alle Szenarien die Grundprinzipien von Demokratie und Marktwirtschaft langfristig verbindlich bleiben. Marktsteuerung erfolgt im Wesentlichen über Preise und marktkonforme Instrumente. In einer liberalisierten und globalisierten Weltwirtschaft sind dirigistische Maßnahmen die Ausnahme. Bei den Szenarien wird auch berücksichtigt, dass sich bis 2050 die politischen Kompetenzen in erheblichem Umfang von der nationalen auf die europäische Ebene verlagern. Die energiepolitischen Vorgaben sollen damit nicht in Widerspruch zu einer europäischen Energiepolitik stehen. Deutschland muss deshalb aber nicht auf eine Vorreiterrolle in Bezug auf nachhaltige Energiepolitik verzichten. Für die Szenarien wird antizipiert, dass auf europäischer Ebene eine Implementierung der Aspekte einer nachhaltigen Entwicklung in vielen Politikfeldern Fortschritte macht.

(468) Im Referenzszenario zeigen Wirtschaft, Politik und Verbraucher gegenüber heute keine gravierenden Verhaltensänderungen. Die Energiepolitik fährt auf dem eingeschlagenen Weg fort, eingeleitete Maßnahmen werden umgesetzt. Ordnungspolitische Vorgaben (z.B. Energieeinsparverordnung) werden der technischen Entwicklung entsprechend angepasst und verschärft. Die Verfügbarkeit über Öl und Gas wird durch langfristige Abkommen mit den Lieferländern gewährleistet. Die Märkte für Strom und Gas bleiben offen. Die Ökosteuer wird in dem heute beschlossenen Umfang erhöht. Die übrigen Energiesteuern (Mineralölsteuer, Erdgassteuer) werden dem Index der Lebenshaltungskosten angepasst, also real konstant gehalten. Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und das Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz (KWKG) gelten als gesetzliche Regelung zumindest bis 2010. Die Vorgaben zur Reduktion der Emission von Treibhausgasen im Rahmen der deutschen Selbstverpflichtungen –25 % Einsparung bis 2005 bzw. 21 % im Rahmen des EU burden sharing zum Kyoto-Protokoll bis 2008/2012 gegenüber 1990 – wurden allerdings nicht in das Referenzszenario integriert.

(469) Im Ergebnis zeigt das Referenzszenario eine Entwicklung, wie sie sich unter den getroffenen Annahmen herausbilden könnte. Das bedeutet weder die Beschreibung einer wahrscheinlichen, noch gar einer „unvermeidbaren“ Entwicklung. Vielmehr dient sie methodisch vor allem der Darstellung eines Referenzpfades für die im Kapitel 5 diskutierten Zielszenarien.



#### 4.2.2 Sozioökonomische Rahmendaten

(470) Allen Szenarien, also auch den Zielszenarien (vgl. Kapitel 5), wird ein grundsätzlich identischer Satz von sozioökonomischen Rahmendaten vorgegeben. Dazu gehören vor allem Annahmen über die langfristige demographische Entwicklung, über das gesamtwirtschaftliche und sektorale Produktionswachstum, die Wohnflächenentwicklung, die Verkehrsleistung im Personen- und Güterverkehr sowie die Veränderungen der Preise für importierte Energieträger (die Verbraucherpreise werden als Schattenpreise modellendogen bestimmt).

(471) Langfristig wird für alle Szenarien mit einem starken Rückgang der Bevölkerung bei guter wirtschaftlicher Entwicklung gerechnet (Tabelle 4–4). 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.

(472) Mit dem durchgängigen Wirtschaftswachstum bei gleichzeitig – vor allem in den beiden letzten Jahr-zehnten des Betrachtungszeitraumes – stark sinkender Bevölkerungszahl wird die Zahl der Erwerbstätigen deutlich langsamer zurückgehen als das Erwerbspersonenpotenzial. Dadurch vermindert sich die Lücke zwischen Erwerbspersonenpotenzial und Zahl der Erwerbstätigen von 4,4 Mio. im Jahr 1998 und sogar 5 Mio. im Jahr 2010 bis auf 1,7 Mio. Mitte des Jahrhunderts.

(473) Ungeachtet des Bevölkerungsrückganges wird sich die gesamte Wohnfläche bis zum Jahr 2030 noch erhöhen und erst danach spürbar zurück gehen. 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<sup>2</sup> mehr sein.

(474) Die Annahmen über die Veränderungen der (realen) Importpreise der wichtigsten Energieträger in den nächsten 50 Jahren sind von der Enquete-Kommission vorgegeben worden. Danach wird für den gesamten Zeitraum von 2000 bis 2050 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.

Tabelle 4–4: Sozioökonomische Rahmendaten für die Szenarien

<b>Bevölkerung</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>
Einwohner in Mio.	82,2	82,2	82,1	80,8	77,9	67,8
<b>Bruttoinlandsprodukt</b>						
BIP (Mrd. Euro)	2023	2221	2438	2882	3286	3989
BIP pro Kopf (Euro)	24611	27019	29695	35668	42182	58835
Veränderung p.a.	<b>2005/2000</b>	<b>2010/2005</b>	<b>2020/2010</b>	<b>2030/2020</b>	<b>2050/2030</b>	<b>2050/2000</b>
BIP (Mrd. Euro)	1,9%	1,9%	1,7%	1,3%	1,0%	1,4%
BIP pro Kopf (Euro)	1,9%	1,9%	1,8%	1,7%	1,7%	1,8%
<b>Arbeitsmarktdaten (in Mio.)</b>						
	<b>1998</b>		<b>2010</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>
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
<b>sektorale Wirtschaftsleistung (Struktur in %)</b>						
	<b>1998</b>		<b>2010</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>
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
<b>Insgesamt</b>	<b>100,0</b>	<b>k.A.</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>
<b>Wohnflächen</b>						
	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>
Ein-/Zweifamilienhäuser (Mio m <sup>2</sup> )	1880	2016	2155	2425	2493	2356
Mehrfamilienhäuser (inkl. Nichtwohngeb.) (Mio m <sup>2</sup> )	1428	1505	1578	1717	1738	1616
<b>Summe</b>	<b>3308</b>	<b>3521</b>	<b>3733</b>	<b>4142</b>	<b>4231</b>	<b>3972</b>
Wohnfläche pro Kopf (m <sup>2</sup> )	40,2	42,8	45,5	51,3	54,3	58,6
<b>Verkehrsleistung</b>						
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
<b>Energieträgerpreise (Euro/GJ)</b>						
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
Pkm je Einwohner	11,8	12,6	13,3	14,1	14,6	15,1

(475) Die Annahmen zu den Wachstumsperspektiven einzelner Branchen bis zum Jahr 2020 basieren auf dem Energiereport III der Prognos AG. Für den Zeitraum 2020 bis 2050 wurden die Entwicklungen in abgeschwächter Form (generelle Wachstumsverlangsamung) fortgeschrieben. Insgesamt geht die Projektion von einer langfristigen Tertiarisierungstendenz aus. So wird über den gesamten Zeitraum gesehen die (reale) Bruttowertschöpfung der Land- und Forstwirtschaft ebenso wie die des Bergbaus rückläufig sein, und diejenige des verarbeitenden Gewerbes, der Energie- und Wasserversorgung sowie des Baugewerbes wird deutlich schwächer steigen als die Bruttowertschöpfung insgesamt. Dagegen wird es vor allem im Bereich Handel, Gastgewerbe, Verkehr und bei den sonstigen Dienstleistungen zu einem überdurchschnittlich starken Wachstum kommen. Insgesamt werden die Dienstleistungssektoren ihren Anteil an der Bruttowertschöpfung von etwa zwei Dritteln im Jahr 1998 auf rund drei Viertel zur Mitte des Jahrhunderts ausweiten.

(476) Bei der Verkehrsleistung im Personenverkehr –die (wie die Verkehrsleistung im Güterverkehr) in ihrer Summe, nicht aber in ihrer Struktur ("Modal Split") für alle Szenarien gilt – ist eine ähnliche Entwicklung wie bei der Wohnfläche zu beobachten (Tabelle 4–5):

Während die Personenkilometer zunächst weiter auf etwa 1 140 Mrd Pkm pro Jahr steigen, fallen sie nach 2030 wieder leicht, obwohl die Kilometer pro Person und Jahr weiter zunehmen. Langfristig wird der Anstieg jedoch aufgrund von Sättigungstendenzen gebremst. Der sich stark verändernde Altersaufbau der Bevölkerung schlägt sich auch in einem weiter zunehmenden Freizeitverkehr nieder. Daraus folgt vor allem ein Wachstum bei den (Fernverkehrs-)Bahnen und beim Luftverkehr, wobei zum Ende des Betrachtungszeitraumes die Personenverkehrsleistungen bei den Bahnen sogar schneller wachsen als im Luftverkehr. Der Öffentliche Straßenpersonenverkehr (ÖSPV) weist eine absolut konstant bleibende Personenverkehrsleistung auf. Der Rückgang der gesamten Personenverkehrsleistung nach 2030 geht vom motorisierten Individualverkehr (MIV) aus, der mit einem Anteil von mehr als drei Vierteln auch im Jahr 2050 noch der mit weitem Abstand vorrangige Bereich bleibt.

(477) Die Intensität der Arbeitsteilung nimmt national wie international langfristig weiter zu. Dies führt unmittelbar zu einer kräftigen Zunahme des Güterverkehrs. Mitte des Jahrhunderts wird die Güterverkehrsleistung etwa doppelt so hoch sein wie im Jahr 2000. Die Entwicklung des Straßengüterverkehrs ist mit leicht fallender Tendenz mit der Entwicklung des Bruttoinlandsprodukts korreliert. Der Anteil an der gesamten Güterverkehrsleistung bleibt jedoch konstant (Vor- und Nachlauf von Fernverkehrsfahrten). Für den Güterfernverkehr wird angenommen, dass aufgrund der gesteigerten Arbeitsteilung die Transportintensität – also die Tonnenkilometer pro Nettoproduktionswert des verarbeitenden Gewerbes – bis etwa 2020 verlangsamt wächst. Langfristig gleichen die Steigerung der Wertdichten und die Gewichtsreduktion der Güter die Intensivierung der Arbeitsteilung jedoch mehr als aus. Bezogen auf das BIP resultieren daraus nach 2030 rückläufige Transportintensitäten. Verstärkt wird dieser Effekt durch die zunehmende Bedeutung des Dienstleistungssektors. 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 %). In den Angaben nicht enthalten ist die Transportleistung des Luftverkehrs, die konstant rund 1 Mrd. tkm beträgt (0,1 %).

Tabelle 4–5: Annahmen zur Entwicklung der Verkehrsnachfrage im Referenzszenario

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

#### 4.2.3 Energie- und umweltpolitische Vorgaben

(478) Die dem Referenzszenario zu Grunde gelegten energie- und umweltpolitischen Vorgaben sind der Tabelle 4–6 zu entnehmen. Danach werden hinsichtlich der Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen keine besonderen Vorgaben gemacht. Die für 2010 und 2020 genannten Reduktionen reflektieren lediglich die aktuellen „prognostischen“ Emissionserwartungen für diese beiden Jahre. Von den heimischen Stein- und Braunkohlen sollen im Jahr 2010 mindestens noch 750 PJ bzw. 1 400 PJ und im Jahr 2020 rd. 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 Kernenergie soll in diesem Referenzszenario gemäß der Vereinbarung zwischen der Bundesregierung und den Kernkraftwerksbetreibern sowie der darauf fußenden Novelle des Atomgesetzes auslaufen. 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 der

Energieeinsparverordnung. Eine CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Deponierung soll im Referenzszenario nicht berücksichtigt werden.

**Tabelle 4–6: Energie- und umweltpolitische Vorgaben für das Referenzszenario**

CO <sub>2</sub> -Emissionen	2010	2020	2030	2040	2050
Reduktionspfad von CO <sub>2</sub> -Emissionen (Mindestveränderung gegenüber 1990)	-14%	-15%		Modellergebnis	
Nachfrage nach Energiedienstleistungen	abgeleitet aus Rahmendaten				
<b>Erneuerbare Energiequellen</b>					
Mindestanteil am Nettostromverbrauch	>8%	> 10%	> 15%	> 17,5%	> 20%
Mindestanteil am Primärenergieverbrauch <sup>1</sup>	>3,5 %	>4,4%		keine Vorgaben	
<b>Kraftwerkskapazitäten</b>					
Ausbau Kraft-Wärme-Kopplung <sup>2</sup>	> 10%	> 15%	> 16,7%	> 18,3%	>20%
Nutzung der Kernenergie	gemäß Novelle des Atomgesetzes vom 14. Dezember 2001				
<b>Mindestnutzung heimischer Kohlen in PJ</b>					
Steinkohle	> 750	> 500		keine Vorgaben	
Braunkohle	> 1400	> 1400			
<b>CO<sub>2</sub>-Senken</b>					
CO <sub>2</sub> -Abscheidung / Deponierung	nicht zulässig				
<b>Effizienzmaßnahmen</b>					
Mindestanforderungen Neubau	ab 2002	EnEV -15%	EnEV -30%		EnEV -40%
Mindestanforderungen Altbaurenovierung	gemäß EnEV				EnEV -50%
Umsetzungsrate Altbau Wohngebäude			0,5%/a		
<b>Verkehr</b>					
Verkehrsleistung	Fortschreibung Energiereport III (Prognos AG)				
EnEV = Energieeinsparverordnung <sup>1</sup> Wirkungsgradmethode <sup>2</sup> Richtlinie FW 308, Anteil am Nettostromverbrauch					

#### 4.2.4 Energiebedarfsspezifische Annahmen

(479) Um in den verwendeten Energiesystemmodellen die Energieverbrauchswerte und die Verteilung auf die Energieträger zu berechnen, bedarf es neben den sozioökonomischen Rahmendaten sowie den energie- und umweltpolitischen Vorgaben zusätzlicher Annahmen über die Kosten von Energietechnologien und über die Veränderungen der sektoralen Energieeffizienzen in den Bereichen Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und Industrie. Auf die wichtigsten dieser Annahmen wird im Folgenden kurz eingegangen.

(480) Grundsätzlich wird unterstellt, dass sich die Energieeffizienz in nahezu allen Sektoren verbessert: Beispielsweise wird sich der spezifische Endenergieverbrauch über den gesamten Betrachtungszeitraum hinweg in der Industrie jahresdurchschnittlich um 1,6 % vermindern; gegenüber 1998 bedeutet das eine Minderung um nahezu 60 %. Darin schlagen sich allerdings nicht nur technische Effizienzverbesserungen, sondern auch der inter- und intraindustrielle Strukturwandel hin zu weniger energieintensiven Branchen und Erzeugnissen nieder. Im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen wird der (auf die reale Bruttowertschöpfung bezogene) spezifische Endenergieverbrauch bis 2050 im jährlichen

Durchschnitt mit 1,7 % ähnlich stark wie in der Industrie zurückgehen. Auch hier spielt es eine Rolle, dass einerseits die prozessenergieintensiven Bereiche (Baugewerbe, Landwirtschaft) im Zuge des wirtschaftlichen Strukturwandels weiter an Bedeutung verlieren, während andererseits neue bzw. renovierte Gebäude in den raumwärmeintensiven Bereichen zunehmend an Gewicht gewinnen.

(481) Bei den Heizungssystemen der privaten Haushalte wird unterstellt, dass pro Jahr aus dem Altbestand maximal 2,5 % der Anlagen durch Anlagen mit einem anderen Energieträger substituiert werden können. Dabei wird der Einsatz von Kohlen nach oben begrenzt, da ein Wechsel zu Kohleheizung zwar aus einzelwirtschaftlichem Kalkül heraus rational sein könnte, jedoch aus Komfortgründen kaum stattfinden wird. Es wird angenommen, dass bei den neuen Einfamilienhäusern der Anschluss an solare Warmwasserversorgung bis auf mindestens 50 % im Jahr 2050 steigt. Die Effizienz von Haushaltsgeräten wird dem historischen Trend folgend fortgeschrieben (Tabelle 4–7).

**Tabelle 4–7: Effizienz des Energieeinsatzes im Haushalt in kWh pro Gerät und Jahr**

	1997	2010	2020	2030	2040	2050
Kühlschrank	280,4	208,5	178,2	157,7	130,4	114,0
Gefrierschrank	301,4	225,8	200,8	163,8	142,7	130,8
Waschmaschine	157,6	115,4	100,9	97,4	95,6	93,8
Spülmaschine	227,0	185,2	170,5	162,0	153,0	144,0
Fernseher	136,6	132,2	123,8	122,0	121,0	120,0
PC	151,0	166,0	136,0	126,9	117,9	108,8
		Energierport III		Fortschreibung IER		

(482) Der spezifische Flottenverbrauch der Pkw geht zu Beginn des Untersuchungszeitraums vergleichsweise stark zurück (z.B. 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 (Tabelle 4–8).

Tabelle 4–8: Flottenverbrauchswerte im Referenzszenario

	2010	2020	2030	2040	2050
	<b>Liter Benzin- bzw. Dieseläquivalent pro 100 km</b>				
<b>Pkw</b>	7,6	6,5	6,0	5,8	5,6
<b>Lkw</b>	25,8	24,5	23,2	21,7	20,1
	<b>jahresdurchschnittliche Veränderungen gegen Vorjahr in %</b>				
<b>Pkw</b>		-1,5	-0,9	-0,4	-0,4
<b>Lkw</b>		-0,5	-0,5	-0,6	-0,8

(483) Wesentlich für die Veränderungen der Struktur des Kraftwerkparks sind die Annahmen über die Investitionskosten der unterschiedlichen Kraftwerkstypen. Hierzu wurden von der Kommission die in Tabelle 4–9 beispielhaft zusammengestellten Vorgaben für das Referenz- wie für die Zielszenarien getroffen. Gemeinsam ist diesen Daten, dass für alle Kraftwerkstypen im Zeitablauf mit einem mehr oder weniger starken Rückgang der spezifischen Investitionskosten gerechnet wird, ohne dass sich die Relationen zwischen den einzelnen Kraftwerkstypen signifikant ändern würden.

Tabelle 4–9: Spezifische Investitionskosten fossil befeuerter Kraftwerke

Spezifische Investitionskosten <sup>1)</sup>	Nettoleistung in MW	2000	2010	2020	2030	2040	2050
<b>Kondensationskraftwerke (Kond.-KW)</b>							
SK-Kond.-KW	700	2350	2150	1900	1850		
SK-Kond.-KW	500	2600	k.A.	k.A.	k.A.		
" mit integr. Kohlevergasung	650	3200	2700	2450	2400		
BK-Kond.-KW	965	2600	2500	2400	2300		
Erdgas-GuD-KW	650	1050	850	800	750		
<b>Entnahme-Kondensations-KWK-Anlagen</b>							
SK-Entnahme-Kond.-KWK	500	2840	2770	2700	2630		
SK-Entnahme-Kond.-KWK	300	3100	3030	2960	2890		
Erdgas-Entnahme-Kond.-KWK	50	1650	1590	1530	1470		
Erdgas-Entnahme-Kond.-KWK	100	1380	1320	1260	1200		
Erdgas-Entnahme-Kond.-KWK	200	1200	1140	1080	1020		
<b>Gegendruck-KWK-Anlagen</b>							
SK-Heizkraftwerk	200	2500	2450	2400	2350		
Erdgas-GuD-HKW	100	1250	1150	1100	1050		
Erdgas-GuD-HKW	200	1150	1000	950	900		
<sup>1)</sup> Mit Bauherren-Eigenleistung; ohne Zinsen.							
SK = Steinkohle, BK = Braunkohle, KWK = Kraft-Wärme-Kopplung, GuD = Gas und Dampf, HKW = Heizkraftwerk							

(484) Für die erneuerbaren Energien wird bis 2050 ein erheblicher Rückgang der Investitionskosten gegenüber den heutigen Werten erwartet. Es wird damit gerechnet, dass sie sich bei der Photovoltaik um 85 %, bei der Solarthermie um 56 %, bei der Windenergie im Off-shore-Bereich um rd. 54 % und im On-shore-Bereich bis 2050 um 37 % vermindern, wobei bei der Windenergie die wesentliche Entwicklung bereits bis zum Jahr 2020 stattfindet.

## 4.2.5 Modellergebnisse

(485) Unter den vorgegebenen Annahmen zur Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung kommt es im Referenzszenario insgesamt zu einer Senkung des Endenergieverbrauchs in Deutschland. Zwar steigt der Endenergieverbrauch zunächst noch von knapp 9200 PJ im Jahr 2000 auf 9705 PJ im Jahr 2010. Danach geht er aber deutlich zurück; im Jahr 2050 wird er um rd. 11 % niedriger sein als 2000 (vgl. Tabelle 4–10).

**Tabelle 4–10: Endenergieverbrauch im Referenzszenario in Deutschland**

Angaben in PJ	1990	1995	1998	2000	2010	2020	2030	2040	2050
<b>Endenergieverbrauch nach Sektoren</b>									
Industrie	2.977	2.474	2.397	2.430	2.509	2.508	2.486	2.401	2.299
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	1.702	1.614	1.576	1.472	1.518	1.511	1.526	1.494	1.389
Haushalte	2.383	2.655	2.779	2.550	2.841	2.865	2.710	2.461	2.221
Verkehr	2.379	2.614	2.692	2.745	2.838	2.757	2.639	2.485	2.299
<b>Summe</b>	<b>9.441</b>	<b>9.357</b>	<b>9.444</b>	<b>9.197</b>	<b>9.705</b>	<b>9.641</b>	<b>9.362</b>	<b>8.842</b>	<b>8.208</b>
<b>Endenergieverbrauch nach Energieträgern</b>									
Kohlen	1.546	632	489	487	421	393	359	350	348
Mineralölprodukte	3.980	4.340	4.344	4.084	4.164	3.945	3.657	3.253	2.761
Gase	1.870	2.261	2.415	2.377	2.687	2.797	2.788	2.643	2.429
Strom	1.607	1.649	1.699	1.729	1.843	1.896	1.906	1.881	1.816
Fern-/Nahwärme	383	366	311	334	343	350	348	345	368
Erneuerbare	55	109	186	186	248	254	289	312	334
Sonstige (Methanol, Wasserstoff)	0	0	0	0	0	5	16	57	152
<b>Summe</b>	<b>9.441</b>	<b>9.357</b>	<b>9.444</b>	<b>9.197</b>	<b>9.705</b>	<b>9.641</b>	<b>9.362</b>	<b>8.842</b>	<b>8.208</b>
	Quelle: AG Energiebilanzen				Modellergebnisse				

(486) Diese Entwicklung ist aufgrund der vorliegenden Annahmen zur Energieeffizienz und zur Wohnflächen- und Wirtschaftsentwicklung vor allem durch den Sektor Haushalte und durch den Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) und längerfristig insbesondere durch den Verkehrssektor geprägt. Bei den Haushalten werden im Jahr 2050 etwa 13 % weniger Endenergie benötigt 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.

(487) Bemerkenswert ist die Entwicklung im Verkehrssektor: Hier wächst der Endenergieverbrauch trotz der stark steigenden Verkehrsleistung nur noch bis 2010 (+3,4 % gegenüber 2000). Wesentlich hierfür ist die unterstellte Umsetzung der freiwilligen Selbstverpflichtung der Deutschen Automobilindustrie. Nach 2010 werden geringere Zuwächse der Verkehrsleistungen und weitere Effizienzsteigerungen angenommen, so dass sich von 2010 bis 2050 ein Rückgang des Endenergieverbrauchs im Verkehr um 19,0 % ergibt; im Vergleich zu 2000 wird damit der Verkehrssektor mit gut 16 % den deutlich



stärksten Verbrauchsrückgang aufweisen. Eine detaillierte Übersicht über die Veränderungen des Energieverbrauchs im Verkehrsbereich gibt Tabelle 4–11. 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 nur eine nachgeordnete Rolle. So erreichen Brennstoffzellenfahrzeuge erst nach 2020 eine etwas stärkere Marktdurchdringung. Im Jahr 2050 werden rd. 10 % der Fahrleistung des MIV von Fahrzeugen mit Brennstoffzellenantrieben erbracht.

**Tabelle 4–11: Endenergieverbrauchswerte im Verkehrssektor in Deutschland**

Angaben in PJ	1991	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2010	2020	2030	2040	2050
<b>Straßenverkehr</b>	<b>2118</b>	<b>2266</b>	<b>2270</b>	<b>2278</b>	<b>2329</b>	<b>2403</b>		<b>2392</b>	<b>2272</b>	<b>2133</b>	<b>1968</b>	<b>1774</b>
davon Mot. Individualverkehr	1513	1530	1535	1527	1536	1544		1464	1280	1105	942	793
Kraftomnibusse	45	41	42	41	42	42		37	35	32	31	28
Übr. Fahrzeuge (Lkw)	560	695	693	709	751	817		890	957	995	995	953
<b>Schienerverkehr</b>	<b>90</b>	<b>89</b>	<b>89</b>	<b>89</b>	<b>84</b>	<b>82</b>		<b>86</b>	<b>92</b>	<b>93</b>	<b>90</b>	<b>91</b>
davon Personenverkehr	62	68	69	65	57	52		49	50	50	46	46
Güterverkehr	28	21	20	24	27	30		37	42	43	44	45
<b>Binnenschifffahrt (Diesel)</b>	<b>28</b>	<b>24</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>17</b>	<b>14</b>		<b>22</b>	<b>28</b>	<b>35</b>	<b>41</b>	<b>44</b>
<b>Luftverkehr (Kerosin)</b>	<b>192</b>	<b>235</b>	<b>244</b>	<b>254</b>	<b>262</b>	<b>280</b>		<b>338</b>	<b>364</b>	<b>378</b>	<b>386</b>	<b>390</b>
<b>insgesamt:</b>	<b>2428</b>	<b>2614</b>	<b>2625</b>	<b>2643</b>	<b>2692</b>	<b>2779</b>	<b>2745</b>	<b>2838</b>	<b>2757</b>	<b>2639</b>	<b>2485</b>	<b>2299</b>
davon Personenverkehr	1812	1874	1890	1888	1897	1918		1889	1729	1565	1405	1257
Güterverkehr	616	740	735	755	795	861		949	1028	1074	1080	1041
<b>Energieeinsatz</b>	<b>2428</b>	<b>2614</b>	<b>2625</b>	<b>2643</b>	<b>2692</b>	<b>2779</b>	<b>2745</b>	<b>2838</b>	<b>2757</b>	<b>2639</b>	<b>2485</b>	<b>2299</b>
davon Benzin	1332	1300	1301	1298	1302	1302	1238	1144	919	728	534	344
Diesel	848	1019	1017	1025	1065	1134	1145	1267	1344	1358	1320	1246
Kerosin	192	235	244	254	261	280	297	338	364	378	386	390
Gas	1	2	1	1	1	1	1	16	37	50	50	6
Strom	55	58	60	61	58	57	58	67	78	96	119	139
Biokraftstoff	0	0	3	4	5	5	6	6	10	14	18	22
Methanol	0	0	0	0	0	0	0	0	2	5	8	13
Wasserstoff	0	0	0	0	0	0	0	0	3	11	49	139

Quelle: Prognos: AG Energiebilanzen; DIW

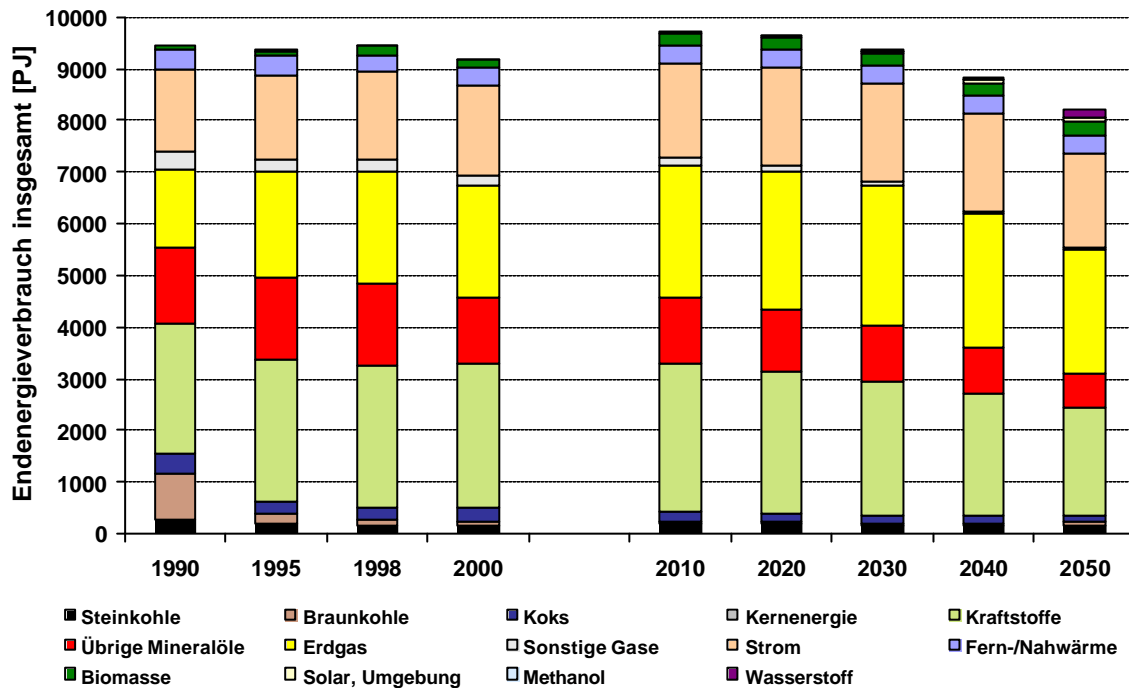
Ergebnisse des Referenzszenarios

(488) 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 (vgl. Abbildung 4–3). Aufgrund 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 rd. 30 % von 2030 an ausbauen. Schon von 2020 an werden die Gase die wichtigsten Energieträger im Endenergiebereich sein.

(489) 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. Im Unterschied zu anderen

Energieträgern schlägt sich hier die rückläufige Entwicklung des Wärmebedarfs der Haushalte und GHD nicht in größerem Ausmaß verbrauchsmindernd nieder, da die Entwicklung vor allem durch die vorgegebenen Anteile des KWK-Stroms an der gesamten Stromerzeugung geprägt wird.

Abbildung 4-3: Endenergieverbrauch nach Energieträgern im Referenzszenario in Deutschland



(490) Der Endenergieverbrauch an Strom zeigt bis 2030 zunächst einen kräftigen Anstieg (+10 % gegenüber 2000), geht dann aber zurück, so dass das Stromverbrauchslevel im Jahr 2050 nur um rd. 5 % über demjenigen im Jahr 2000 liegt (vgl. Tabelle 4-12); zwischenzeitlich beträgt der Anstieg bis 2030 ca. 12,4 % gegenüber 1998. Der Zuwachs ist hauptsächlich auf die Sektoren Industrie (z.B. durch zunehmende Automatisierung), GHD (aufgrund der wachsenden Bedeutung des Dienstleistungssektors und des verstärkten Technikeinsatzes 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. Hier werden aber gegen Ende des Betrachtungszeitraumes aufgrund der weiter steigenden Preise für fossile Energieträger verstärkt Elektro-Wärmepumpen eingesetzt, mit entsprechenden Konsequenzen für den Stromverbrauch.

**Tabelle 4–12: Nettostromverbrauch nach Sektoren im Referenzszenario in Deutschland**

Angaben in Mrd. kWh	1990	1995	1998	2000	2010	2020	2030	2050
Industrie	207,8	190,4	198,9	210,0	220,1	232,9	237,4	228,7
Gewerbe, Handel und Dienstleistungen	107,8	124,1	126,4	123,1	137,3	145,8	152,2	144,7
Haushalte	117,2	127,2	130,6	131,1	135,9	126,3	113,2	92,6
Verkehr	13,6	16,2	16,1	16,1	18,7	21,7	26,6	38,6
<b>Endenergie</b>	<b>446,4</b>	<b>457,9</b>	<b>471,9</b>	<b>480,3</b>	<b>512,0</b>	<b>526,8</b>	<b>529,3</b>	<b>504,5</b>
Sonstige <sup>1</sup>	62,8	43,5	42,1	46,9	45,4	45,0	41,8	50,2
<b>Insgesamt:</b>	<b>509,2</b>	<b>501,4</b>	<b>514,0</b>	<b>527,2</b>	<b>557,0</b>	<b>571,8</b>	<b>571,1</b>	<b>554,7</b>

<sup>1</sup> Verbrauch und Verluste im Umwandlungsbereich (ohne Kraftwerkseigenverbrauch).

(491) Für die künftige Struktur des Stromerzeugungssystems sind zum einen die Entwicklung der Stromnachfrage und zum anderen die bestehenden Kraftwerkskapazitäten sowie die sich aus ihrer Altersstruktur ergebenden Ersatzinvestitionszeitpunkte relevant. Daraus und aus der Vorgabe eines zu jedem Zeitpunkt ausgeglichenen Stromimportsaldos ergibt sich, wie viel neue Kraftwerkskapazitäten zuzubauen sind. Das Modell berechnet diese dann entsprechend den Investitionskosten und Energieträgerpreiserwartungen zum jeweiligen Investitionszeitpunkt. Es ergeben sich zum Teil deutliche Veränderungen gegenüber Prognos (2000), das für weite Teile der Annahmen als Vorlage diente, insbesondere hinsichtlich der Möglichkeiten einzelner Technologien bzw. Technologiegruppen, sich in einem liberalisierten Umfeld als attraktive Erzeugungsoption behaupten zu können. Details über die Entwicklung der Kraftwerkskapazitäten sind der Tabelle 4–13 zu entnehmen. Danach erhöhen sich die Kapazitäten 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 immerhin um fast 25 GW zu. Deutlich gesteigert wird auch die Leistung der KWK-Anlagen. Demgegenüber geht die Kapazität der Kernkraftwerke vereinbarungsgemäß nach 2020 vollständig vom Netz, und die Heizölkraftwerke werden ebenfalls stillgelegt. Kohlekraftwerke werden zugebaut.

(492) Auf der Basis der neu zugebauten Kraftwerke und unter Nutzung der zu den jeweiligen Zeitschritten noch vorhandenen Altkapazitäten ergibt sich zusammen mit der jeweiligen Auslastung der Stromerzeugungskapazitäten die in Tabelle 4–14 und Abbildung 4–4 dargestellte Entwicklung der Nettostromerzeugung im Referenzszenario in Deutschland. Insgesamt steigt die Nettostromerzeugung von rund 532 TWh im Jahr 2000 über 557 TWh im Jahr 2010 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 einem beachtlichen Umfang an der Stromerzeugung beteiligt. Ihr Beitrag beläuft sich im Jahr 2010 noch auf rund 26 % und im Jahr 2020 auf fast 14 %. Nach 2010 übertrifft aber die Stromerzeugung aus Steinkohle und aus Braunkohle den Beitrag der Kernenergie schon deutlich. Im Jahr 2050 tragen die Steinkohlen- und Braunkohlenkraftwerke jeweils rund 31 % zur gesamten Nettostromerzeugung bei; Erdgaskraftwerke folgen mit knapp 14 % an dritter Stelle.

**Tabelle 4–13: Kraftwerkskapazitäten (netto) im Referenzszenario in Deutschland**

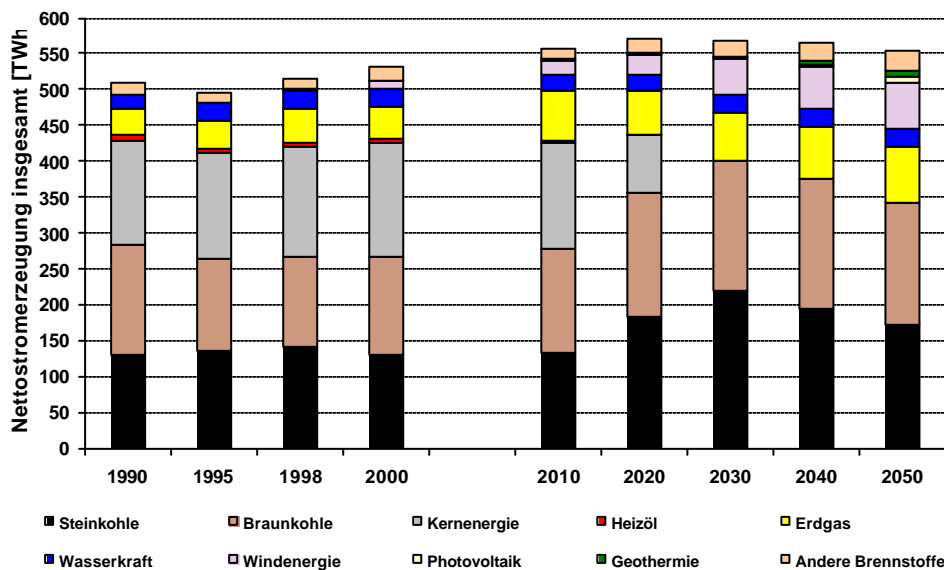
Angaben in GW	1990	1998	2010	2020	2030	2050
Steinkohle	31,2	30,7	24,1	29,6	35,1	26,3
Braunkohle	26,2	19,0	21,5	23,8	24,4	22,9
Heizöl	10,0	8,3	2,8	2,8	0,0	0,0
Erdgas	16,7	20,4	23,3	20,1	20,6	23,5
Kernenergie	24,1	22,3	19,7	10,6	0,0	0,0
Wasserkraft	8,6	8,9	10,3	10,3	10,3	10,3
Wind	0,0	2,9	12,4	14,7	22,7	27,5
Photovoltaik	0,0	0,0	0,2	0,8	1,5	9,6
Andere Brennstoffe	1,7	2,9	3,4	4,5	5,0	8,0
<b>Summe</b>	<b>118,5</b>	<b>115,3</b>	<b>117,6</b>	<b>117,1</b>	<b>119,6</b>	<b>128,1</b>
davon in Kraft-Wärme-Kopplung	k.A.	k.A.	27,3	28,2	31,0	36,6

(493) Entsprechend den Vorgaben der Enquete-Kommission soll der Beitrag der erneuerbaren Energiequellen zur Nettostromerzeugung künftig auch unter Referenzbedingungen weitersteigen. Es ist ein Anteil der REG-Stromerzeugung (inkl. REG-Stromimport) an der Nettostromerzeugung von mindestens 8 % im Jahr 2010, mindestens 10 % im Jahr 2020, mindestens 15 % im Jahr 2030 und mindestens 20 % im Jahr 2050 vorgegeben worden. Zur Erfüllung dieser Quote verzeichnen im Jahr 2050 die (Onshore- und Offshore-)Windenergie mit 62,5 TWh, die Photovoltaik mit 9,1 TWh sowie die Biomassen mit 12,9 TWh den für die Erfüllung der Vorgaben notwendigen Zuwachs. Schließlich erhöht auch die Wasserkraft (Laufwasser, Speicher aus natürlichem Zufluss) ihren Beitrag noch von 17,3 TWh in 1998 auf 23,9 TWh in 2050. Sie nähert sich damit ihren Potenzialgrenzen weiter an, ist dann aber unter den erneuerbaren Energiequellen nach der Windenergie nur noch diejenige mit dem zweitgrößten Anteil an der Nettostromerzeugung. Im Laufe des Betrachtungszeitraumes steht mit der Stromerzeugung aus Geothermie eine Option mit im Zeitablauf stark sinkenden Investitionskosten und damit rückläufigen Stromgestehungskosten zur Verfügung. Im Ergebnis beträgt die Nettostromerzeugung auf Basis der Geothermie im Jahr 2050 etwa 8,3 TWh nach 1,4 TWh im Jahr 2030. Insgesamt tragen die regenerativen Energien im Referenzszenario im Jahr 2050 mit 21 % zur gesamten Nettostromerzeugung in Deutschland bei. Um zwischenzeitlich die vorgegebene REG-Quote an der Stromerzeugung einzuhalten, muss nach den Szenariorechnungen in den Jahren 2020 (2,3 TWh) und 2030 (2,7 TWh) Regenerativstrom (Windenergie) aus den Nachbarländern importiert werden. Mit der Ausweitung der geothermischen Stromerzeugung wird bis 2050 der REG-Stromimport wieder auf 0 TWh zurückgeführt.

**Tabelle 4–14: Nettostromerzeugung im Referenzszenario in Deutschland nach Einsatzenergieträgern**

	1990	1998	2000	2010	2020	2030	2040	2050
<b>Nettostromerzeugung in Mrd. kWh</b>								
Steinkohle	130,9	140,0	131,5	131,6	183,1	220,5	192,9	171,5
Braunkohle	152,1	127,8	135,0	146,3	174,3	181,2	181,5	171,7
Kernenergie	144,6	153,0	160,6	146,5	79,0	0,0	0,0	0,0
Heizöl	10,5	4,7	2,9	3,8	1,1	0,0	0,0	0,0
Erdgas	35,9	48,8	46,8	69,2	59,6	66,2	73,6	76,7
Wasserkraft	19,5	22,6	25,5	23,4	24,8	25,3	25,5	25,5
Windenergie	0,1	4,7	9,2	20,7	26,8	50,8	57,7	62,5
Photovoltaik	0,0	0,0	0,0	0,2	0,7	1,4	4,3	9,1
Geothermie	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	1,4	3,9	8,3
Andere Brennstoffe	14,8	13,1	20,8	15,3	19,7	21,6	26,3	29,5
<b>Summe</b>	<b>508,4</b>	<b>514,7</b>	<b>532,3</b>	<b>557,0</b>	<b>569,5</b>	<b>568,4</b>	<b>565,6</b>	<b>554,7</b>
dar.: regenerative Energien	23,8	22,9	31,0	46,1	59,0	87,4	100,2	116,6
<b>Struktur der Nettostromerzeugung in %</b>								
Steinkohle	25,8	27,2	24,7	23,6	32,1	38,8	34,1	30,9
Braunkohle	29,9	24,8	25,4	26,3	30,6	31,9	32,1	31,0
Kernenergie	28,4	29,7	30,2	26,3	13,9	0,0	0,0	0,0
Heizöl	2,1	0,9	0,5	0,7	0,2	0,0	0,0	0,0
Erdgas	7,1	9,5	8,8	12,4	10,5	11,6	13,0	13,8
Wasserkraft	3,8	4,4	4,8	4,2	4,4	4,5	4,5	4,6
Windenergie	0,0	0,9	1,7	3,7	4,7	8,9	10,2	11,3
Photovoltaik	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,8	1,6
Geothermie	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,7	1,5
Andere Brennstoffe	2,9	2,5	3,9	2,8	3,5	3,8	4,6	5,3
<b>Summe</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>
dar.: regenerative Energien	4,7	4,5	5,8	8,3	10,4	15,4	17,7	21,0
Quelle: BMWi; AG EB			Ergebnisse des Referenzszenarios					

Abbildung 4–4: Nettostromerzeugung nach Energieträgern im Referenzszenario in Deutschland



(494) Auch für die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) wurden im Referenzszenario Vorgaben gemacht. Die entsprechenden Mindestanteile betragen 10 % im Jahr 2010, 15 % im Jahr

2020 und 20 % im Jahr 2050. Da gleichzeitig angenommen wird, dass aufgrund der neuen KWK-Gesetzgebung in den nächsten Jahren ein Umbau und Ausbau bei der Kraft-Wärme-Kopplung stattfinden wird, ergibt sich, dass die vorgegebene Quote im Jahr 2010 mit 14,3 % mehr als erfüllt wird, während in den Folgejahren der Mindestanteil eine entscheidende Voraussetzung zum weiteren Ausbau der KWK-Stromerzeugung darstellt. Hinsichtlich der Erzeugungsstruktur findet dabei zunehmend eine Verschiebung hin zum Erdgas sowie in stärkerem Ausmaß zu den erneuerbaren Energieträgern (insb. Biomasse) statt.

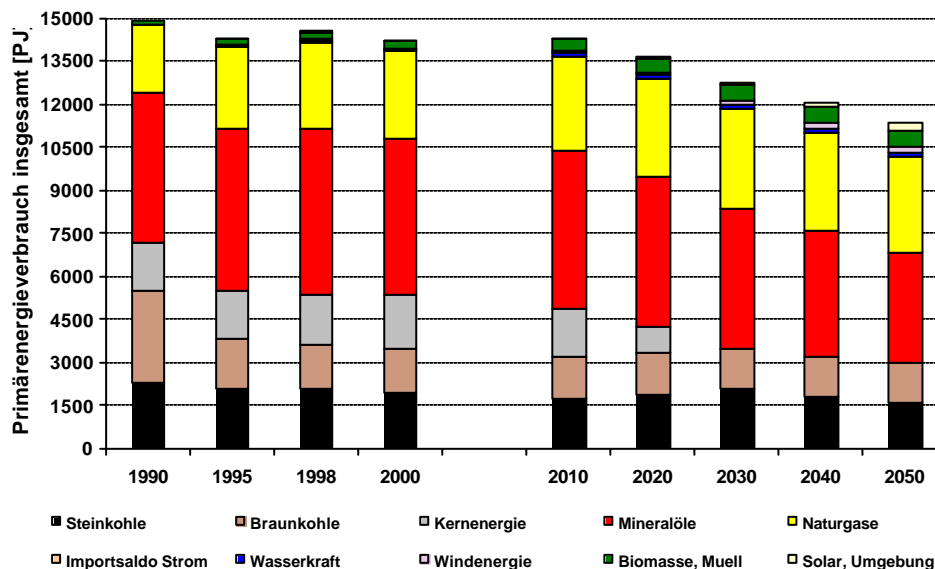
(495) Der sich aus der Entwicklung des Endenergieverbrauchs, der Strombereitstellung und des Verbrauchs im übrigen Umwandlungsbereich ergebende Primärenergieverbrauch in Deutschland ist für das Referenzszenario in Tabelle 4–15 und Abbildung 4–5 dargestellt. Im Jahr 2000 belief sich der Primärenergieverbrauch in Deutschland auf 14 180 PJ (483,8 Mio. t SKE). Im Referenzszenario kommt es nach 2010 aufgrund 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 Primärenergieverbrauch zuletzt um rund 20 % niedriger als im Jahr 2000. Die im Vergleich zur Entwicklung des Endenergieverbrauchs stärkere Reduktion des Primärenergieverbrauchs ist zum Teil auch mit der primärenergetischen Bewertung der einzelnen Energieträger auf der Basis der Wirkungsgradmethode verbunden.

(496) Der Primärenergieverbrauch in Deutschland beruhte im Jahr 2000 zu fast 39 % auf Mineralöl, zu 24,4 % auf Kohlen (davon rund 55 % Steinkohle), zu 21,3 % auf Naturgasen, zu 13,0 % auf Kernenergie und zu 2,4 % auf erneuerbaren Energiequellen (Wasserkraft, Holz, Müll, Klärgas usw.). Die Beiträge der einzelnen Energieträger zum Primärenergieverbrauch entwickeln sich im Referenzszenario sehr unterschiedlich. Die Kohlen, Gase und erneuerbaren Energiequellen gewinnen vor allem durch die Veränderungen im Strombereich an Bedeutung, die Entwicklung beim Mineralöl wird dagegen hauptsächlich vom Verkehrssektor bestimmt. Gleichwohl wird das Mineralöl aber auch 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 4–15: Primärenergieverbrauch im Referenzszenario in Deutschland

	1990	1995	1998	2000	2010	2020	2030	2040	2050
<b>Primärenergieverbrauch nach Energieträgern in PJ<sup>1</sup></b>									
Steinkohle	2.306	2.060	2.059	1.920	1.691	1.860	2.035	1.767	1.559
Braunkohle	3.201	1.734	1.514	1.547	1.476	1.470	1.438	1.438	1.438
Kernenergie	1.668	1.682	1.762	1.849	1.691	912	0	0	0
Mineralöle	5.238	5.689	5.775	5.478	5.495	5.206	4.876	4.368	3.799
Naturgase	2.316	2.826	3.048	3.025	3.321	3.450	3.492	3.447	3.376
Importsaldo Strom	3	17	0	9	0	8	10	2	0
Wasserkraft	58	77	63	73	84	89	91	92	92
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
<b>Summe</b>	<b>14.916</b>	<b>14.269</b>	<b>14.521</b>	<b>14.180</b>	<b>14.298</b>	<b>13.621</b>	<b>12.725</b>	<b>12.030</b>	<b>11.372</b>
<b>Primärenergieverbrauch nach Energieträgern in %</b>									
Steinkohle	15,5	14,4	14,2	13,5	11,8	13,7	16,0	14,7	13,7
Braunkohle	21,5	12,2	10,4	10,9	10,3	10,8	11,3	12,0	12,6
Kernenergie	11,2	11,8	12,1	13,0	11,8	6,7	0,0	0,0	0,0
Mineralöle	35,1	39,9	39,8	38,6	38,4	38,2	38,3	36,3	33,4
Naturgase	15,5	19,8	21,0	21,3	23,2	25,3	27,4	28,7	29,7
Importsaldo Strom	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0
Wasserkraft	0,4	0,5	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8
Windenergie	0,0	0,0	0,1	0,2	0,5	0,7	1,4	1,7	2,0
Biomasse, Müll	0,8	1,2	1,9	1,6	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
Solar, Umgebung	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,4	0,7	1,4	2,7
<b>Summe</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>
<sup>1</sup> Wirkungsgradmethode	Quelle: AG Energiebilanzen				Modellergebnisse				

Abbildung 4–5: Primärenergieverbrauch nach Energieträgern im Referenzszenario in Deutschland



#### 4.2.6 Emissionen und andere Nachhaltigkeitsindikatoren

(497) Die Ergebnisse des Referenzszenarios sind charakterisiert durch einen bis zur Mitte des Jahrhunderts mehr oder weniger ausgeprägten Rückgang sowohl des Energieverbrauchs als auch der Emissionen (vgl. Tabelle 4–17 und Tabelle 4–18). So wird

der Primärenergieverbrauch – je nach Bewertungsmethode – im Jahr 2050 um 20 bis 24 % niedriger sein als 1990; bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen wie bei den Treibhausgasemissionen insgesamt kommt es zu einer Reduktion um größenordnungsmäßig jeweils 30 % und bei den übrigen der erfassten Schadstoffemissionen sind sogar – wie bei den NMVOC- und Staub-Emissionen – Rückgänge um mehr als 90 % zu verzeichnen. Stark rückläufig werden außerdem die Emissionen von CH<sub>4</sub> (-87 %), CO und SO<sub>2</sub> (jeweils -85 %) sowie NO<sub>x</sub> (-60 %) sein. Dagegen fällt die Minderung bei den N<sub>2</sub>O-Emissionen mit 14 % vergleichsweise schwach aus.

(498) Sektoral differenziert ergibt sich für die Veränderungen der CO<sub>2</sub>- sowie der Treibhausgasemissionen insgesamt das folgende Bild (vgl. Tabelle 4–16): In beiden Fällen ist die relative Emissionsminderung in der Periode von 1990 bis 2050 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.

**Tabelle 4–16: Entwicklung der CO<sub>2</sub>- und Treibhausgasemissionen im Referenzszenario in Deutschland**

	1990	1995	1998	2010	2020	2030	2050
<b>Energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen</b>				<b>Mio. t</b>			
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
<b>Summe</b>	<b>986,8</b>	<b>876,5</b>	<b>861,1</b>	<b>824,6</b>	<b>829,6</b>	<b>815,9</b>	<b>700,8</b>
				<b>1990 = 100</b>			
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
<b>Summe</b>	<b>100</b>	<b>89</b>	<b>87</b>	<b>84</b>	<b>84</b>	<b>83</b>	<b>71</b>
<b>Energiebedingte THG-Emissionen <sup>1)</sup></b>				<b>Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente</b>			
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
<b>Summe</b>	<b>1035,6</b>	<b>916,3</b>	<b>899,6</b>	<b>855,3</b>	<b>856,0</b>	<b>833,5</b>	<b>715,5</b>
				<b>1990 = 100</b>			
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
<b>Summe</b>	<b>100</b>	<b>88</b>	<b>87</b>	<b>83</b>	<b>83</b>	<b>80</b>	<b>69</b>
<sup>1)</sup> THG = Treibhausgasemissionen	Quelle: Umweltbundesamt			Ergebnisse des Referenzszenarios			

(499) Gemessen an den absoluten Emissionsreduktionen von 1990 bis 2050 fallen vor allem die Veränderungen im Sektor Energiegewinnung und -umwandlung ins Gewicht, der am Rückgang beispielsweise der Treibhausgasemissionen von rund 320 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalent mit 130 Mio. t oder rd. 40 % beteiligt ist. 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 %. Die sektoralen Relationen verändern sich allerdings, wenn man als Bezugsjahr nicht 1990 sondern 1998 wählt. Auf 1998 bezogen leistet der zusammengefasste Bereich Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen bis zum Jahr 2050 den größten Treibhausgasminderungsbeitrag mit 60 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalent oder rd. einem Drittel. Es folgen die Sektoren Energiegewinnung und -umwandlung sowie Verkehr mit jeweils rd. 47 Mio. t oder etwa einem Viertel und schließlich die Industrie mit 30 Mio. t oder gut 16 %.

(500) Vor dem Hintergrund der insbesondere nach 2030 stark sinkenden Einwohnerzahl gehen die Pro-Kopf-Emissionen nur abgeschwächt zurück: So betragen die CO<sub>2</sub>-Emissionen bzw. THG-Emissionen pro Einwohner im Jahr 2050 rund 10,3 t bzw. 10,6 t; gegenüber 1990 bedeutet das zwar eine Minderung um 17 % bzw. 19 %, im Vergleich zu 1998 sind es aber lediglich 2 bzw. 4 % weniger. Gemessen an der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung kommt es dagegen zu einer beträchtlichen Emissionsreduktion. So sinkt die gesamtwirtschaftliche Emissionsintensität (Emissionen je Einheit Bruttoinlandsprodukt) von 1990 bis 2050 beim CO<sub>2</sub> jahresdurchschnittlich um 1,9 % und bei den Treibhausgasemissionen insgesamt um 2,0 %. Im Vergleich zu dem Rückgang im Mittel der Neunzigerjahre (jeweils -3,1 % p.a.) verlangsamt sich damit der Emissionsrückgang deutlich.

**Tabelle 4–17: Indikatoren für die Entwicklung von Energieverbrauch und Emissionen im Referenzszenario in Deutschland: absolute Werte**

	Einheit	1990	1998	2010	2020	2030	2050
Primärenergieverbrauch (WM)	PJ	14916	14521	14284	13602	12704	11351
Primärenergieverbrauch (SP)	PJ	14796	14406	14287	13764	13138	11881
Endenergieverbrauch	PJ	9441	9444	9705	9641	9362	8208
CO <sub>2</sub> -Emissionen	Mio. t	986,8	861,1	824,6	829,6	815,9	700,8
THG-Emissionen	Mio. t	1035,6	899,6	855,3	856,0	833,5	715,5
CH <sub>4</sub> -Emissionen	kt	1775	1243	887	685	270	227
N <sub>2</sub> O-Emissionen	kt	37	40	39	39	38	32
NO <sub>x</sub> -Emissionen	kt	2678	1767	1552	1361	1279	1080
CO-Emissionen	kt	10537	4836	2510	2272	2109	1630
NMVOE-Emissionen	kt	1975	610	234	218	208	174
Staub-Emissionen	kt	1310	129	173	145	91	79
SO <sub>2</sub> -Emissionen	kt	5264	1239	876	789	806	776
NH <sub>3</sub> -Emissionen	kt	k.A.	k.A.	5	5	5	4
PEV (WM) pro Kopf	GJ / EW	188	177	174	168	163	167
PEV (SP) pro Kopf	GJ / EW	187	176	174	170	169	175
BIP / PEV (WM)	Euro <sub>95</sub> / GJ	112	129	166	206	251	341
BIP / PEV (SP)	Euro <sub>95</sub> / GJ	113	130	166	203	243	326
PEV (WM) / BIP	MJ / Euro <sub>95</sub>	8,92	7,74	6,04	4,86	3,98	2,93
PEV (SP) / BIP	MJ / Euro <sub>95</sub>	8,84	7,68	6,04	4,92	4,12	3,07
Nutzungsgrad Stromerzeugung	% <sub>netto</sub>	33,8	35,5	40,3	46,1	53,1	55,7
Industrieprod. / EEV Ind.	Euro <sub>95</sub> / GJ	145	164	204	249	290	387
EEV GHD / Erwerbstätigem	GJ / Pers.	k.A.	41,98	40,34	40,60	43,75	46,91
EEV HH / m <sup>2</sup>	MJ / m <sup>2</sup>	859	881	761	692	641	559
EEV PV / Pkm	kJ / Pkm	k.A.	k.A.	142	123	107	83
EEV GV / tkm	kJ / tkm	k.A.	k.A.	1562	1403	1280	1080
Energieimportabhängigkeit (WM)	%	57	73	75	77	79	76
Wert der Netto-Energieimporte	Mrd. Euro <sub>95</sub>	25,2	k.A.	28,1	34,1	39,8	44,6
Netto-Energieimporte (WM) / BIP	%	1,51	k.A.	1,19	1,22	1,25	1,15
THG / BIP	g / TEuro <sub>95</sub>	619,0	479,4	361,4	306,0	261,3	184,8
THG / Kopf	t / EW	13,1	11,0	10,4	10,6	10,7	10,6
THG / PEV (WM)	t / GJ	69,4	62,0	59,9	62,9	65,6	63,0
THG / PEV (SP)	t / GJ	70,0	62,4	59,9	62,2	63,4	60,2
CO <sub>2</sub> / BIP	g / TEuro <sub>95</sub>	589,9	458,9	348,4	296,6	255,8	181,0
CO <sub>2</sub> / Kopf	t / EW	12,4	10,5	10,0	10,3	10,5	10,3
CO <sub>2</sub> / PEV (WM)	t / GJ	66,2	59,3	57,7	61,0	64,2	61,7
CO <sub>2</sub> / PEV (SP)	t / GJ	66,7	59,8	57,7	60,3	62,1	59,0

Erläuterungen: PEV = Primärenergieverbrauch; WM = Wirkungsgradmethode, SP = Substitutionsansatz; THG = Treibhausgasemissionen; EEV = Endenergieverbrauch

(501) Ähnlich wie die Pro-Kopf-Werte bei den Emissionen geht auch der Primärenergieverbrauch je Einwohner innerhalb des Betrachtungszeitraumes kaum zurück. Umgekehrt ergibt sich eine recht deutliche Verbesserung der Energieeffizienz (Bruttoinlandsprodukt je Einheit Primärenergieverbrauch): Je nach Bewertung der Primärenergieträger wird mit einer jahresdurchschnittlichen Steigerung der Energieeffizienz von 1,8 bis 1,9 % im Zeitraum von 1998 bis 2050 gerechnet – von 1990 bis 1998 waren es 1,8 %. Mit einer mittleren Rate von 1,7 % von 1998 bis 2050 fällt die Erhöhung der Energieeffizienz in der Industrie zwar schwächer aus als in der Gesamtwirtschaft, doch

bedeutet dies gegenüber der Entwicklung von 1990 bis 1998 (1,5%/a) eine leichte Verbesserung. Auffällig ist, dass der spezifische Energieverbrauch im Haushaltsbereich in Zukunft deutlich – um fast 37 % von 1998 bis 2050 – sinkt, während er in den Neunzigerjahren noch um 3 % gestiegen war.

**Tabelle 4–18: Indikatoren für die Entwicklung von Energieverbrauch und Emissionen im Referenzszenario in Deutschland: 1990 = 100**

1990 = 100	1990	1998	2010	2020	2030	2050
Primärenergieverbrauch (WM)	100	97	96	91	85	76
Primärenergieverbrauch (SP)	100	97	97	93	89	80
Endenergieverbrauch	100	100	103	102	99	87
CO <sub>2</sub> -Emissionen	100	87	84	84	83	71
THG-Emissionen	100	87	83	83	80	69
CH <sub>4</sub> -Emissionen	100	70	50	39	15	13
N <sub>2</sub> O-Emissionen	100	108	105	105	104	86
NO <sub>x</sub> -Emissionen	100	66	58	51	48	40
CO-Emissionen	100	46	24	22	20	15
NMVOC-Emissionen	100	31	12	11	11	9
Staub-Emissionen	100	10	13	11	7	6
SO <sub>2</sub> -Emissionen	100	24	17	15	15	15
PEV (WM) pro Kopf	100	94	92	89	87	89
PEV (SP) pro Kopf	100	94	93	91	90	94
BIP / PEV (WM)	100	115	148	183	224	304
BIP / PEV (SP)	100	115	146	180	215	288
PEV (WM) / BIP	100	87	68	55	45	33
PEV (SP) / BIP	100	87	68	56	47	35
Nutzungsgrad Stromerzeugung	100	105	119	136	157	165
Industrieprod. / EEV Ind.	100	113	141	172	200	266
EEV HH / m <sup>2</sup>	100	103	89	81	75	65
Energieimportabhängigkeit (WM)	100	128	132	134	138	133
Wert der Netto-Energieimporte	100	k.A.	111	135	158	177
Netto-Energieimporte (WM) / BIP	100	k.A.	79	81	83	76
THG / BIP	100	77	58	49	42	30
THG / Kopf	100	84	80	81	82	81
THG / PEV (WM)	100	89	86	91	94	91
THG / PEV (SP)	100	89	86	89	91	86
CO <sub>2</sub> / BIP	100	78	59	50	43	31
CO <sub>2</sub> / Kopf	100	84	81	83	84	83
CO <sub>2</sub> / PEV (WM)	100	90	87	92	97	93
CO <sub>2</sub> / PEV (SP)	100	90	87	90	93	88
Erläuterungen: PEV = Primärenergieverbrauch; WM = Wirkungsgradmethode, SP = Substitutionsansatz; THG = Treibhausgasemissionen; EEV = Endenergieverbrauch						

(502) Markant ist auch die Verbesserung der Nutzungsgrade im Bereich der Stromerzeugung: Betrag der durchschnittliche Nutzungsgrad der Nettostromerzeugung im Jahr 1998 lediglich 35,5 %, so wird für die Mitte des Jahrhunderts mit einem um 20 Prozentpunkte auf fast 56 % erhöhten Nutzungsgrad gerechnet. Dieser starke Anstieg ist

auch darauf zurückzuführen, dass bei den erneuerbaren Energiequellen Wind, PV und Wasser nach vorherrschender internationaler Konvention mit einem Nutzungsgrad von 100 % gerechnet wird. Da der Anteil dieser Energiequellen an der Stromerzeugung deutlich zunimmt, wirkt sich dies unmittelbar auf den durchschnittlichen Nutzungsgrad der Stromerzeugung insgesamt aus. Außerdem wird bei den fossil gefeuerten Kraftwerken mit einer im Zeitablauf erheblichen Verbesserung der Nutzungsgrade gerechnet: Bei den Steinkohlenkraftwerken von 37 % (1998) auf knapp 52 % (2050), bei den Braunkohlenkraftwerken von 34 % auf 51 % und bei den Erdgaskraftwerken von 45 % auf 59 %.

(503) Im Vergleich zu 1998 ergeben sich für das Referenzszenario leichte Veränderungen bei der Importabhängigkeit der Energieversorgung; die Importquote nimmt von rund 73 % im Jahr 1998 zunächst bis auf 79 % im Jahr 2030 zu, fällt dann aber wieder bis auf 76 % zur Mitte des Jahrhunderts. Der Wert der Netto-Energieimporte, der 1990 noch bei fast 50 Mrd. DM oder 25 Mrd. Euro (95er Preise) gelegen hatte, steigt um nahezu 80 % bis auf rd. 87 Mrd. DM oder knapp 45 Mrd. Euro im Jahr 2050. Gemessen am Bruttoinlandsprodukt bedeutet dies gegenüber 1990 allerdings einen Rückgang: Entsprechend der Wert der Netto-Energieimporte im Jahr 1990 noch einem Anteil von 1,51 %, so sind es nach den Ergebnissen des Referenzszenarios im Jahr 2050 nur noch 1,15 %.

(504) Die über das gesamte Energie- und Verkehrssystem bilanzierten Kosten (Investitionen, Betriebskosten, Brennstoffe) belaufen sich im Referenzszenario im Zeitraum von 1990 bis 2050 (ohne Berücksichtigung externer Kosten) kumuliert und abdiskontiert auf 2000 auf 10 043 Mrd. Euro (in 98er Preisen). Ohne Abdiskontierung der laufenden Kosten betragen die kumulierten Kosten 19 198 Mrd. Euro; Im Jahresdurchschnitt machen die nicht-abdiskontierten Werte rd. 320 Mrd. Euro aus, die für die Befriedigung des Energiedienstleistungsbedarfes in Deutschland unter den Bedingungen des Referenzszenarios aufgebracht werden müssen. Gemessen am mittleren Bruttoinlandsprodukt im Zeitraum von 1990 bis 2050 sind das schätzungsweise etwa 11 %.

#### 4.2.7 Bewertung des Referenzszenarios

(505) Das Referenzszenario beschreibt eine Entwicklung, die im Grundsatz gekennzeichnet ist von einer Fortschreibung der bisherigen Verhaltensweisen von Wirtschaft, Politik und Verbraucher. Es bedeutet keine politische Abstinenz, aber auch keine explizit auf die Verwirklichung einer nachhaltigen Energieversorgung gerichtete Strategie. Dabei werden die Ergebnisse – neben den von der Enquete-Kommission gesetzten Vorgaben – entscheidend von den Annahmen über die künftige demographische und ökonomische Entwicklung geprägt. Beide Faktoren wirken sich allerdings gegensätzlich aus: Während von der

unterstellten, zuletzt stark rückläufigen Entwicklung der Bevölkerung erhebliche verbrauchssenkende Tendenzen insbesondere im Haushaltsbereich sowie im Verkehrssektor ausgehen, wirkt sich umgekehrt die Annahme eines durchgängig sehr expansiven gesamtwirtschaftlichen Wachstums verbrauchssteigernd aus.

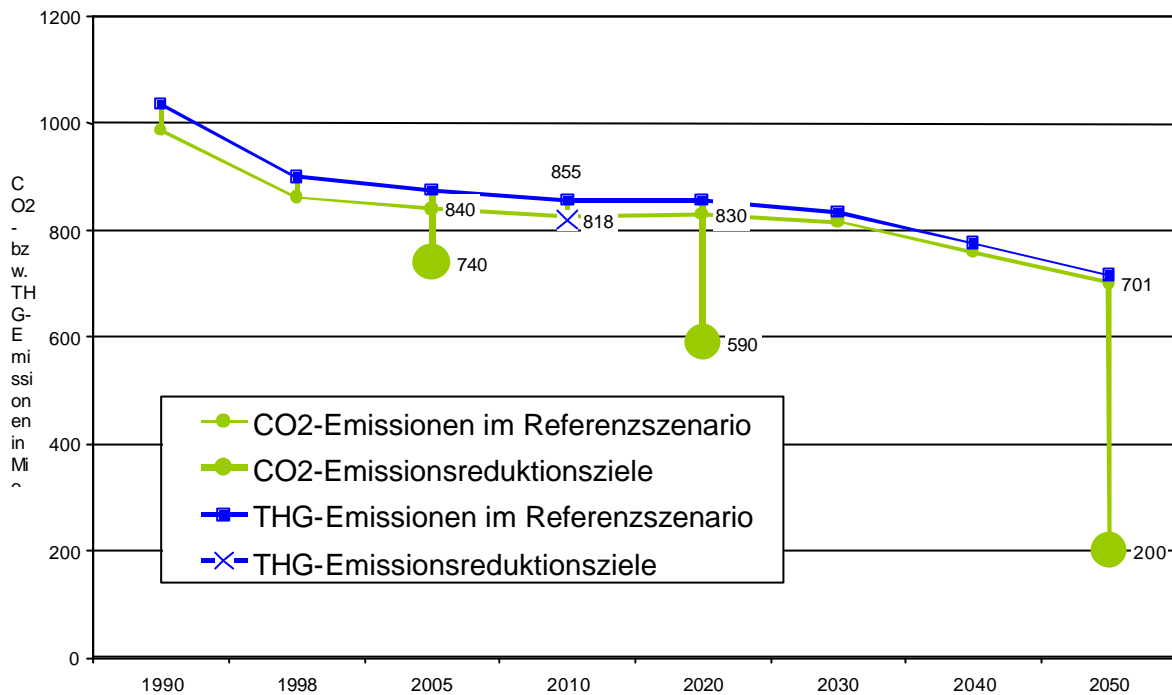
(506) Die Enquete-Kommission hat die beiden Grundannahmen – starker Bevölkerungsrückgang auf der einen, kräftige gesamtwirtschaftliche Expansion auf der anderen Seite – kritisch diskutiert. So wird darauf hingewiesen, dass sich nicht zuletzt angesichts offener Grenzen und der vermutlich zunehmenden Erweiterung der Europäischen Union andere Wanderungsbewegungen herausbilden könnten, die einer derart stark sinkenden Einwohnerzahl entgegenstehen würden. Auch wird bezweifelt, dass sich bei einer solchen rückläufigen Bevölkerungsentwicklung ein Wirtschaftswachstum in der angenommenen Größenordnung herausbilden würde. Immerhin würde ein Pro-Kopf-Wirtschaftswachstum realisiert werden, das historisch noch keine Parallele gefunden hat. Ungeachtet dieser kritischen Erwägungen, hat die Kommission aber darauf verzichtet, die Studiennehmer um eine Revision ihrer Grundannahmen zu bitten. Dafür sprachen nicht nur zeitliche Gründe, sondern auch die Überlegung, dass es sich bei dem Referenzszenario nicht in erster Linie um die Prognose der wahrscheinlichsten Entwicklung handeln sollte, sondern vor allem um die Darstellung einer Referenz für die Zielszenarien. Gleichwohl bleibt festzuhalten, dass unter dem Aspekt des wirtschaftlichen Wohlstandes das Referenzszenario (wie von diesen Annahmen her auch die Zielszenarien) ein sehr optimistisches Bild zeichnet. Allerdings sind die externen Kosten des Wirtschaftens ebenso wie die der damit verbundenen Energieversorgung im Referenzszenario bei dieser Betrachtung nicht berücksichtigt.

(507) Unabhängig von der Diskussion der Rahmendaten sowie der sonstigen Vorgaben ist festzustellen, dass das Referenzszenario zu dem Ergebnis einer zunehmend effizienteren Energieverwendung und Energiebereitstellung kommt. 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, also mit Verbesserungen der Energieeffizienz gerechnet worden ist, die das aus der Vergangenheit bekannte Ausmaß teilweise deutlich übertreffen (vgl. dazu die im vorangegangenen Abschnitt angesprochenen Beispiele). Insgesamt erscheint dadurch die im Referenzszenario aufgezeigte Entwicklung als eher optimistisch im Sinne einer nachhaltigen Energieversorgung. Wie weit zu diesem Ergebnis auch die Eigenschaften des verwendeten Szenariomodells beigetragen haben, sei dahin gestellt. Immerhin dürfte das genutzte Kostenoptimierungsmodell kaum die in der Realität vorhandenen Hemmnisse kennen, so dass eher ein Idealtypus denn die mögliche Realität beschrieben wird.

(508) Ungeachtet aller Effizienzverbesserungen wird das Referenzszenario von der Dominanz der fossilen Energieträger geprägt, deren Anteil am Primärenergieverbrauch von gut 84 % im Jahr 2000 bis 2030 auf rund 93 % steigt und danach bis 2050 auf etwas unter 90 % abnimmt. Eine Ablösung der fossilen Energieträger ist im Referenzszenario also nicht abzusehen – im Gegenteil. Damit hängt auch zusammen, dass die Abhängigkeit der deutschen Volkswirtschaft von Importenergien sowohl relativ als auch absolut sehr hoch bleibt. Unter dem Gesichtspunkt der Versorgungssicherheit und der Risikofreiheit kommt es daher im Referenzszenario eher zu einer Verschlechterung der Situation der Energieversorgung gegenüber der heutigen Ausgangssituation. Allerdings können schon in diesem Szenario zumindest die Risiken aus dem Betrieb der Kernkraftwerke mit deren Stilllegung nach 2020 vermieden werden.

(509) Eng verbunden mit der versorgungsseitigen Dominanz der fossilen Energieträger ist die Entwicklung der Treibhausgasemissionen. Wie gezeigt worden ist, gehen die CO<sub>2</sub>-Emissionen wie die Treibhausgasemissionen insgesamt künftig weiter zurück, doch werden sämtliche Emissionsreduktionsziele verfehlt (Abbildung 4-6). Das gilt für das nationale Ziel, die CO<sub>2</sub>-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 %. Im Jahr 2005 klafft zwischen der im Referenzszenario errechneten CO<sub>2</sub>-Emission und dem Emissionsziel eine Lücke von rd. 100 Mio. t, die sich bis 2020 auf etwa 240 Mio. t und bis 2050 sogar auf rd. 500 Mio. t vergrößert.

Abbildung 4–6: CO<sub>2</sub>- und Treibhausgasemissionen im Referenzszenario in Deutschland sowie Emissionsreduktionsziele



(510) Vergleichsweise nahe am Ziel liegt das Referenzszenario lediglich bei der von Deutschland im Rahmen des europäischen "burden sharing" eingegangenen Verpflichtung, die Treibhausgasemissionen bis 2008/2010 um 21 % im Vergleich zu 1990 zu senken; von diesem Ziel ist das Referenzszenario für 2010 „lediglich“ um 37 Mio. t oder um knapp 5% entfernt.

(511) Insgesamt erfüllt der durch das Referenzszenario beschriebene Energiepfad die Nachhaltigkeitskriterien nicht. Neben der nach wie vor sehr hohen Beanspruchung der begrenzten Energieressourcen muss als die zentrale Verletzung der Nachhaltigkeitskriterien die dramatische Verfehlung der aus Klimaschutzgründen geforderten Emissionsreduktionsziele angesehen werden. Die Enquete-Kommission kommt vor diesem Hintergrund zu dem Ergebnis, dass eine Entwicklung entsprechend dem Referenzszenario wie schon die heutige Energieversorgung nicht nachhaltig ist und keine akzeptable Basis für die Zukunft darstellt.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Der nahezu seit 1998 gleichbleibend hohe Pro-Kopf-Verbrauch an Energie ist maßgeblich beteiligt an der dramatischen Verfehlung der Reduktionsziele für Treibhausgase und der Nachhaltigkeitskriterien.

(512) Das Ausmaß der Zielverfehlung macht auch den beträchtlichen energie- und umweltpolitischen Handlungsbedarf deutlich, mit dem es Politik, Wirtschaft und Verbraucher in den nächsten Jahrzehnten zu tun haben werden.