

## Das GRÜNE Energiewende-Szenario 2020

Ausstieg aus der Atomenergie,  
Einstieg in Klimaschutz und nachhaltige  
Entwicklung

Darmstadt/Freiburg/Berlin, März  
1996

Uwe Fritsche, Öko-Institut e.V.  
Martin Cames, Öko-Institut e.V.  
Willi Loose, Öko-Institut e.V.  
Gero Lücking, Öko-Institut e.V.  
Christof Timpe, Öko-Institut e.V.

**Öko-Institut e.V.**  
Geschäftsstelle Freiburg  
Postfach 6226  
D-79038 Freiburg  
Tel.: 0761-4 52 95-0

Büro Darmstadt  
Elisabethenstr. 55-57  
D-64283 Darmstadt  
Tel.: 06151-81 91-0

Büro Berlin  
Novalisstraße 10  
D-10115 Berlin  
Tel.: 030-280 486-80  
Fax: 030-280 486-88



## **Das GRÜNE Energiewende-Szenario 2020**

### **Ausstieg aus der Atomenergie, Einstieg in Klimaschutz und nachhaltige Entwicklung**

**Untersuchung im Auftrag der Bundestagsfraktion und Landtagsfraktion NRW  
von Bündnis90/Grüne sowie der Heinrich-Böll-Stiftung**

Darmstadt/Freiburg/Berlin im März 1996

Bearbeitung:

Uwe Fritsche  
Martin Cames  
Willi Loose  
Gero Lücking  
Christof Timpe

Geschäftsstelle Freiburg  
Postfach 62 26  
79038 Freiburg  
Tel.: 07 61 / 4 52 95-0  
Fax : 07 61 / 47 54 37

Büro Berlin  
Friedrichstr. 165  
10117 Berlin  
Tel.: 0 30 / 20 16 50 8-0  
Fax: 0 30 / 20 16 50 8-8

Büro Darmstadt  
Bunsenstr. 14  
64293 Darmstadt  
Tel.: 0 61 51 / 81 91-0  
Fax : 0 61 51 / 81 91-33  
e-mail: fritsche@oeko.de

<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....		<b>Seite</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung, Aufgabenstellung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Annahmen und Ergebnisse des Referenz-Szenarios</b> .....	<b>2</b>
2.1	Demografische und ökonomische Grunddaten .....	2
2.2	Ergebnisse des Referenz-Szenarios .....	4
<b>3</b>	<b>Der Sofortausstieg aus der Atomenergie ist möglich</b> .....	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Die Nachfrageseite des Energiewende-Szenarios</b> .....	<b>13</b>
4.1	Szenario-Annahmen zur Endenergienachfrage.....	13
4.2	Annahmen im Sektor Verkehr .....	35
4.3	Endenergiebedarf .....	47
<b>5</b>	<b>Die Angebotsseite des Energiewende-Szenarios</b> .....	<b>50</b>
5.1	Der Kraftwerkspark.....	50
5.2	Kraft-Wärme-Kopplung im Energiewende-Szenario.....	54
5.3	Regenerative Energien zur Strombereitstellung im Energiewende-Szenario .....	60
<b>6</b>	<b>Ergebnisse des Energiewende-Szenarios</b> .....	<b>64</b>
6.1	Primärenergie .....	64
6.2	CO <sub>2</sub> -Emissionen.....	72
6.3	Gesamtwirtschaftliche Auswirkungen des Atomausstiegs .....	75
<b>7</b>	<b>Maßnahmen zur Umsetzung</b> .....	<b>85</b>
7.1	Maßnahmen im Bereich Energie .....	85
7.2	Maßnahmen im Bereich Verkehr.....	89
<b>8</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse, Fazit</b> .....	<b>92</b>
<b>9</b>	<b>Literatur</b> .....	<b>94</b>

## Zusammenfassung

Der Atomausstieg ist noch im Jahr 1996 technisch möglich und emissionsseitig "beherrschbar". Das ist das wichtigste Ergebnis des neuen Energiewende-Szenarios, das vom Öko-Institut für Bündnis 90/Die Grünen und die Heinrich-Böll-Stiftung erarbeitet wurde.

In der Studie wird der Atomausstieg vor dem Hintergrund des Klimaschutzes untersucht. Das Resultat: Kurzfristig würde der CO<sub>2</sub>-Ausstoß zwar steigen, die Mehremissionen können jedoch innerhalb von sechs Jahren kompensiert werden. Durch eine Umlenkung von Investitionen lassen sich nach der Jahrhundertwende sogar erhebliche größere Senkungen der Kohlendioxidemissionen erreichen als bei einem Festhalten am bisherigen Kurs.

Ausgangspunkt der Studie ist eine aktuelle Prognose des Bundeswirtschaftsministeriums. Darin wird die bisherige Energiepolitik bis zum Jahr 2020 fortgeschrieben und von einem etwa gleichbleibenden Primärenergieverbrauch und nur leicht sinkenden CO<sub>2</sub>-Emissionen ausgegangen. Das Szenario des Öko-Instituts geht gegenüber diesem Referenz-Szenario von einer veränderten Energiepolitik aus, die zu einem drastischen Rückgang des Energieverbrauchs führt. Erster Schritt dieser Energiewende ist der Ausstieg aus der Nukleartechnologie.

Die Studie zeigt, daß bei einer sofortigen Abschaltung aller bundesdeutschen Kernkraftwerke keineswegs die Lichter ausgehen. Engpässe bei der Stromversorgung sind nicht zu befürchten: Aufgrund der großen Überkapazitäten steht nach dem Ausstieg immer noch eine Reserveleistung von 15 % zur Verfügung. Das ist ausreichend, um bei einem unvorhergesehenen Ausfall weiterer Kraftwerke deren Stromproduktion übernehmen zu können.

Gleichzeitig bietet eine veränderte Energiepolitik zusätzliche Chancen für den Klimaschutz. Kurzfristig wird der Ausstieg aus der Atomenergie zwar einen Anstieg des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes bedeuten. Durch den mit dem Ausstieg verbundenen Umbau des Energiesystems können diese Mehremissionen jedoch schnell kompensiert werden: Bezogen auf das Jahr 1990 führt eine Energiewende bis zum Jahr 2005 zu einer 25prozentigen CO<sub>2</sub>-Reduktion und bis 2020 zu einem Rückgang des Kohlendioxidaustoßes um etwa 50 Prozent. Damit erreicht die vom Öko-Institut vorgeschlagene Strategie das Klimaschutzziel der Bundesregierung. Die Prognose des Bundeswirtschaftsministeriums verfehlt hingegen das Ziel und dies trotz des weiteren Einsatzes der Kernenergie.

In allen Verbrauchssektoren (Haushalte, Kleinverbrauch, Industrie) können erheblich größere Einsparpotentiale erschlossen werden, als von der Bundesregierung angenommen. Nach den Ergebnissen der Studie ist es möglich, den Endenergieverbrauch bis zum Jahr 2020 um 25 Prozent zu senken.

Zudem ist ein gezielter Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung nötig. Vor allem in der Industrie aber auch in städtischen Wohn- und Dienstleistungsgebieten müssen Nah- und Fernwärmenetze ausgebaut werden. Daneben gilt es, die Einführung erneuerbarer Energien vor allem in der Stromerzeugung massiv zu forcieren. Der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromproduktion kann von vier Prozent im Jahr 1992 auf 35 Prozent im Jahr 2020 ausgebaut werden.

Die Finanzierung dieser Maßnahmen muß nicht durch zusätzliche Mittel erfolgen, sondern kann durch eine Umschichtung der Ausgaben sichergestellt werden. Um den Energieverbrauch drastisch zu senken, muß verstärkt Geld in Einspartechnologien gesteckt werden.

Dies kann durch verringerte Ausgaben für die Endenergieträger (Kohle, Öl, Gas etc.) finanziert werden. Bei einer solchen Umschichtung der Mittel stehen bis zum Jahr 2020 mehr als 860 Milliarden DM für Einspartechnologien und eine veränderte Investitionstätigkeit bei der Strom- und Wärmeerzeugung zur Verfügung. Statt auf die Erneuerung der Atom- und Kondensationskraftwerke zu setzen, sind zentrale und dezentrale Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen auszubauen.

Durch den Sofortausstieg und die Energiewende wird ein Teil der im Bereich fossiler Energien, insbesondere im Bergbau angesiedelten Arbeitsplätze entfallen. Diesem Verlust stehen jedoch Gewinner-Branchen gegenüber, die Einspartechniken und regenerative Energiesysteme herstellen, warten und vertreiben.

Die hiervon ausgehenden Beschäftigungsimpulse werden in einer Gesamtbilanz abgeschätzt: Dabei ergibt sich für das Jahr 2020 ein Nettozuwachs von mehr als 200.000 Arbeitsplätzen.

## 1 Einleitung, Aufgabenstellung

Am 26. April 1986 explodierte der Reaktor 4 im ukrainischen Atomkraftwerk Tschernobyl und löste die bis heute weltweit größte Katastrophe der nicht-militärischen Nutzung der Atomenergie aus. Die radioaktive Wolke, die über Weißrußland und einen großen Teil Nord- und Westeuropas hinwegzog, hatte in Deutschland nur eine kurz anhaltende politische Wirkung: Zehn Jahre nach der Reaktorkatastrophe sind hierzulande immer noch 19 Atomkraftwerke am Netz und erzeugen ein Drittel des benötigten Stroms.

Die Forderung nach einem sofortigen Ausstieg aus der Atomenergie ist heute ebenso aktuell und wichtig wie vor zehn Jahren. Im Auftrag der Bundestagsfraktion und der Landtagsfraktion von Bündnis90/Grüne in Nordrhein-Westfalen sowie die Heinrich-Böll-Stiftung hat das Öko-Institut sein Energiewende-Szenario aus dem Jahre 1990 fortgeschrieben und die Frage nach der Möglichkeit des Atomausstiegs und der Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in einer Energiewende-Strategie aus heutiger Sicht neu untersucht. Als Grundlage für diese Analyse dient ein aktuelles Energieszenario des Bundeswirtschaftsministers, das im Jahr 1995 von der Prognos AG erstellt wurde (Prognos 1995).

Das neue Energiewende-Szenario bezieht sich auf Gesamtdeutschland als politische und energiewirtschaftliche Einheit. Eine explizite Unterscheidung zwischen den alten und neuen Bundesländern wurde nur dort getroffen, wo es sachlich geboten war. Neu an dem vorliegenden Szenario ist, daß der Zeithorizont erstmals bis ins Jahr 2020 reicht. Damit rücken Fragen nach den Möglichkeiten zur CO<sub>2</sub>-Minderung über den relativ kurzfristigen Zeitraum bis zum Jahr 2005 hinaus in den Blick. Auch die Frage nach der Gestaltung einer nachhaltigen Energiewirtschaft nimmt im neuen Energiewende-Szenario einen größeren Raum ein als bisher.

Neben den Fragen nach der Mobilisierung der Energie-Einsparpotentiale, der Kraft-Wärme-Kopplung und der erneuerbaren Energiequellen wird im neuen Szenario auch die Entwicklung des Energiebedarfs im Verkehrssektor untersucht.

Methodisch weiterentwickelt und erheblich detaillierter konnte auch die besonders wichtige Frage nach den volkswirtschaftlichen Auswirkungen einer Energiewende-Strategie bearbeitet werden. Durch eine detaillierte Analyse der veränderten Kapitalströme für Investitionen und Energieträger lassen sich die Effekte eines Umbaus der Energiewirtschaft auf die einzelnen Sektoren der Volkswirtschaft und die Beschäftigungswirkungen besser als bisher angeben.

## 2 Annahmen und Ergebnisse des Referenz-Szenarios

Die Grundlage des Energiewende-Szenarios 2020 ist ein Energieszenario der Bundesregierung, das im Jahr 1995 von der Prognos AG erstellt wurde (Prognos 1995). Darin wird, ausgehend von den Basisdaten des Jahres 1992, eine mögliche Entwicklung des Energiesektors der Bundesrepublik bis zum Jahr 2020 dargestellt. Neben den erwartbaren Energiepreisen, dem Energiebedarf und der Energiebereitstellung werden dort auch die ökologischen Auswirkungen des Energiebedarfs untersucht. Dabei wird die Entwicklung in Deutschland im europäischen Kontext betrachtet, d.h. neben der gemeinsamen Energiepolitik der Europäischen Union wird insbesondere der Transformationsprozeß in Osteuropa und seine Rückwirkungen auf die Wirtschaft und den Energiesektor in Deutschland in die Überlegungen einbezogen.

Im folgenden wird dieses Szenario als "Referenz-Szenario" bezeichnet, und dies trifft auch die Intention der Verfasser dieser Untersuchung: "Zentrale Annahme der Prognose (...) ist, daß sich in den Rahmenbedingungen keine grundsätzlichen (...) Verschiebungen ergeben. Dies gilt insbesondere für den Gesamtkomplex der gesellschaftlichen (wirtschaftlichen und ökologischen) Wertstrukturen, aber auch für den energiepolitischen Bereich." (Prognos 1995, 5)

Dennoch schreibt das Referenz-Szenario nicht einfach den Status Quo fort. Neben einer positiven Wirtschaftsentwicklung und den sukzessiven Einsatz (auch energetisch) verbesserter Technologien in vielen Bereichen der Volkswirtschaft werden auch heute absehbare energiepolitische Eingriffe unterstellt:

- eine weitere Verschärfung der Wärmeschutzverordnung, jedoch ohne eine Quantifizierung der verschärften Wärmestandards,
- eine teilweise Einführung einer Abwärmenutzungsverordnung,
- eine langfristige Verringerung der Kohlesubventionen in Deutschland
- ein "Inflationsanpassung" bei den energiespezifischen Verbrauchssteuern (Heizöl-/Erdgassteuer, Mineralölsteuer).

Eines der wichtigsten und derzeit intensiv diskutierten Instrumente einer Energiepolitik, die Einführung einer spürbaren Energiesteuer, wurde nicht unterstellt.

Das Energiewende-Szenario 2020 ist gegenüber der im Referenz-Szenario dargestellten wahrscheinlichen Entwicklung ein Strategieszenario, in dem die Ziele "Ausstieg aus der Atomenergie", "Realisierung der Klimaschutzziele" und "forcierter Ausbau der erneuerbaren Energien" erreicht werden sollen. Um dieses Szenario mit der Referenzentwicklung vergleichbar zu machen, wurden alle wesentlichen demografischen und ökonomischen Grunddaten aus dem Referenz-Szenario der Bundesregierung unverändert übernommen. Die wichtigsten davon werden im folgenden Kapitel dargestellt.

### 2.1 Demografische und ökonomische Grunddaten

Die wichtigste Grundlage für die zu erwartende Entwicklung von Wirtschaft und Energiebedarf ist die angenommene **Bevölkerungsentwicklung**. Das Referenz-Szenario geht hier für Gesamtdeutschland

von einem leichten Anstieg bis zum Jahr 2000 aus, an den sich ein moderater Rückgang bis zum Ende des Betrachtungszeitraums anschließt (Tab. 2.1). Ursache hierfür ist ein permanenter Rückgang bei der natürlichen Bevölkerungsentwicklung, der nur zum Teil durch die weitere Zuwanderung aus dem Ausland ausgeglichen werden kann.

Tab. 0.1: Bevölkerungsentwicklung im Referenz-Szenario

in Mio.	1992	2000	2005	2010	2015	2020
alte Bundesländer	64,9	67,6	67,8	67,6	67,3	66,8
neue Bundesländer	15,7	14,7	14,3	14,2	14,2	14,1
Deutschland	80,6	82,3	82,1	81,8	81,5	80,9

Quelle: Prognos 1995

Bei der **Anzahl der Haushalte** wirkt sich der starke Trend zu kleineren Haushaltsgrößen aus. In den alten Bundesländern steigt die Anzahl der Haushalte weiter an, obwohl sich die Bevölkerungszahl nach dem Jahr 2005 rückläufig entwickelt (Tab. 2.2). In den neuen Bundesländern bleibt die Zahl der Haushalte etwa konstant bei 6,7 Millionen, obwohl die Bevölkerung bis zum Jahr 2005 deutlich, danach langsamer zurückgeht.

Tab. 0.2: Entwicklung der Anzahl der Haushalte im Referenz-Szenario

in Mio.	1992	2000	2005	2010	2015	2020
alte Bundesländer	29,0	30,5	30,8	31,1	31,4	31,5
neue Bundesländer	6,7	6,6	6,6	6,7	6,7	6,7
Deutschland	35,7	37,1	37,4	37,8	38,1	38,2

Quelle: Prognos 1995

Die **wirtschaftliche Entwicklung** wird von Prognos eher optimistisch eingeschätzt (Tab. 2.3). In den alten Bundesländern wird in den Jahren 1993 bis 2020 ein stabiles durchschnittliches Wirtschaftswachstum von 1,9 % p.a. unterstellt. Für die neuen Bundesländer wird eine kräftige ökonomische Erholung angesetzt, mit Wachstumsraten von über 8 % p.a. bis zum Jahr 2000 und einer durchschnittlichen Wachstumsrate bis zum Jahr 2020 von immerhin 4,8 % p.a.

Tab. 0.3: Relative Entwicklung des Bruttoinlandsproduktes im Referenz-Szenario

in % p.a.	93/00	01/05	06/10	11/15	16/20
alte Bundesländer	+1,7%	+2,1%	+2,0%	+2,0%	+2,0%
neue Bundesländer	+8,2%	+5,3%	+3,8%	+2,6%	+2,3%
Deutschland	+2,3%	+2,5%	+2,3%	+2,1%	+2,0%

Quelle: Prognos 1995

Dabei sind die Beiträge der einzelnen Wirtschaftssektoren zu den angenommenen Wachstumsraten durchaus unterschiedlich: Aufgrund des zu erwartenden realen Rückgangs im deutschen Stein- und Braunkohlebergbau wächst der primäre Sektor (Landwirtschaft und Bergbau) mit knapp 1% p.a. deutlich unterdurchschnittlich. In Verarbeitenden Gewerbe liegt der Zuwachs mit 2,1 % p.a. leicht über dem gesamtwirtschaftlichen Wachstum. Innerhalb dieses Sektors geht der Anteil der Grundstoffindustrie zurück, die Bedeutung der Investitions- und Verbrauchsgüterindustrie steigt an.



Der wesentliche Wachstumsträger wird jedoch der Dienstleistungssektor sein. Mit einem durchschnittlichen Wachstum von 2,4 % p.a. werden hier die höchsten Steigerungsraten erwartet.

## 2.2 Ergebnisse des Referenz-Szenarios

### 2.2.1 Endenergiebedarf

Der Endenergiebedarf in Deutschland wird in der Referenzentwicklung bis zum Jahr 2000 um ca. 6 % gegenüber 1992 ansteigen und dann bis zum Ende des Betrachtungszeitraums etwa konstant bleiben (Tab. 2.4). Dabei verschieben sich die Anteile der einzelnen Sektoren am gesamten Endenergiebedarf nur unwesentlich: Der Anteil der Haushalte sinkt von 26,6 % in 1992 auf 23,3 % im Jahr 2020. Dafür steigt der Anteil des Verkehrssektors leicht von 28,1 % auf 30,4 % an. Die Anteile der Industrie und des Kleinverbrauchssektors (in dem u.a. alle Dienstleistungsbranchen enthalten sind) bleiben etwa stabil.

Tab. 0.4: Endenergiebedarf im Referenz-Szenario

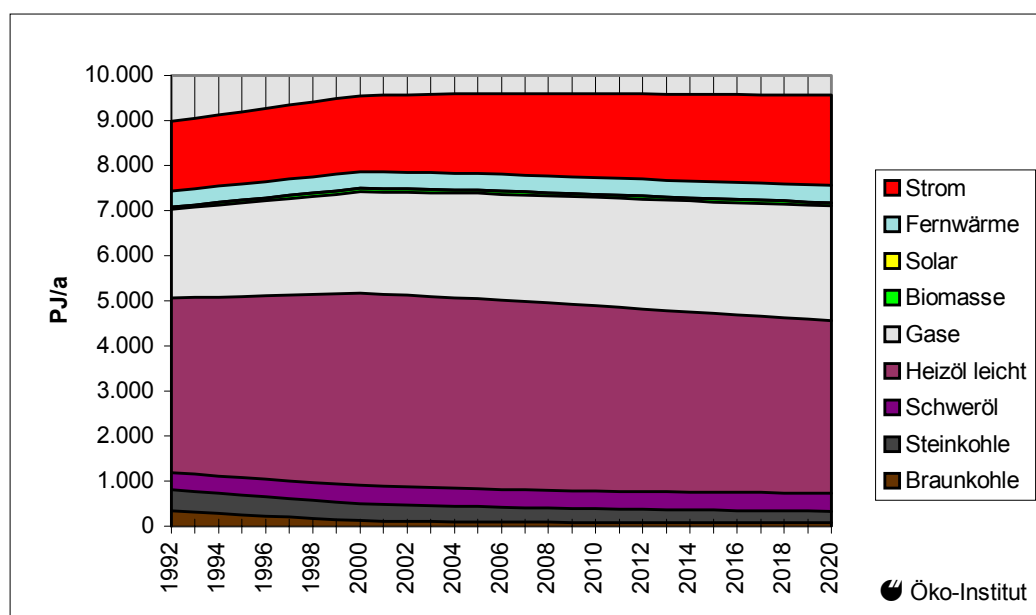
in PJ	1992	1995	2000	2005	2010	2015	2020
<b>Deutschland</b>							
Haushalte	2.388	2.433	2.510	2.464	2.387	2.312	2.229
Kleinverbrauch	1.514	1.551	1.614	1.620	1.640	1.644	1.653
Industrie	2.560	2.522	2.458	2.512	2.587	2.669	2.778
Verkehr	2.522	2.689	2.969	3.001	2.985	2.946	2.909
Summe	8.983	9.195	9.550	9.597	9.600	9.571	9.568

Quelle: Prognos 1995<sup>1</sup>

Die Anteile der einzelnen Energieträger am Endenergiebedarf verändern sich z.T. erheblich (Abb. 2.1): Der Einsatz von Kohle als Endenergieträger, also im direkten Einsatz in Einzelfeuerungen, geht von ca. 9% im Jahr 1992 auf ca. 3 % in 2020 zurück. Der Anteil des leichten Heizöls steigt bis zum Jahr 2000 noch leicht auf knapp 45 % an und sinkt dann bis 2020 auf 40 % ab. Der Anteil von Erdgas und Flüssiggas steigt über den Betrachtungszeitraum hinweg um vier Prozentpunkte an. Der Strombedarf liegt im Jahr 2020 um 30 % über dem Wert von 1992. Erneuerbare Energien spielen im Bereich der Endenergieträger so gut wie keine Rolle.

<sup>1</sup> Geringfügige Abweichungen von den Daten in (Prognos 1995) beruhen auf unterschiedlichen Abgrenzungen der Sektoren.

Abb. 0.1: Endenergiebedarf im Referenz-Szenario



Quelle: Prognos 1995

### 2.2.2 Kraftwerkspark

Im Bereich des Umwandlungssektors des Referenz-Szenarios ist insbesondere die Entwicklung des Kraftwerksparks von Interesse. Nach den Annahmen von Prognos muß die Bruttoengpaßleistung des Kraftwerksparks (öffentliche Versorgung und vertraglich gesicherte Industrieleistung) zwischen 1992 und 2020 um insgesamt 12.600 MegaWatt auf dann 123.200 MegaWatt ausgebaut werden.

Auf zwei energiepolitisch besonders bedeutsame Annahmen des Referenz-Szenarios zum Kraftwerkspark soll hier kurz eingegangen werden:

- Die Autoren der Prognos-Studie gehen davon aus, daß die Standorte für **Atomkraftwerke** in der Regel erhalten werden und stillgelegte nukleare Anlagen weitgehend durch Neubauten ersetzt werden.

Innerhalb des Betrachtungszeitraums von 28 Jahren sind - bei einer unterstellten durchschnittlichen Betriebsdauer von 30 Jahren - alle derzeit in Betrieb befindlichen Atomkraftwerke abgängig. Bis zum Jahr 2005 rechnet Prognos zusätzlich zu der bereits erfolgten Stilllegung des Reaktors in Würgassen mit dem Betriebsende der Altanlagen in Obrigheim und Stade. In diesem Zeitraum sollen noch keine Neuanlagen in Betrieb gehen, die Leistung der weiterhin laufenden Anlagen wird jedoch durch technische Maßnahmen um ca. 300 MW erhöht werden.

Im Zeitraum von 2006 bis 2020 sind dann alle noch in Betrieb befindlichen Anlagen abgängig. Dabei handelt es sich um 17 Reaktoren mit einer Bruttoleistung von 21.200 MegaWatt. Prognos nimmt an, daß diese Leistung durch neue Anlagen (z.B. den European Pressurized Reactor (EPR), der derzeit von Siemens/Framatome entwickelt wird) an den gleichen Standorten ersetzt wird. Dies bedeutet, daß **in den Jahren 2006 bis 2020 etwa 14 neue Atomkraftwerke** gebaut werden müßten.

- Im Bereich der **Braunkohlekraftwerke** wird eine annähernd konstante Kraftwerksleistung in den alten Bundesländern angenommen. In den neuen Bundesländern werden in Jänschwalde und Boxberg acht Kraftwerksblöcke mit einer Gesamtleistung von 4.000 MegaWatt nachgerüstet. Insgesamt sieben neue Kondensationsblöcke mit insgesamt 5.700 MegaWatt werden bis 2005 neu gebaut.

Für die Braunkohlereviere in den alten Bundesländern bedeutet dies den vollständigen Aufschluß von Garzweiler II in dem vom RWE beabsichtigten Umfang. Parallel dazu wird das vom RWE angekündigte Modernisierungsprogramm für die Braunkohlekraftwerke mit erheblichen Investitionen durchgeführt.

Parallel dazu wird der Kapazitätsanteil der Steinkohlekraftwerke an der gesamten Engpaßleistung gegenüber 1992 leicht ansteigen. Die insgesamt verstromte Steinkohlemenge soll bis 2020 um ca. 14 % steigen. Allerdings wird der Anteil importierter Steinkohle von 16% im Jahr 1992 bereits im Jahr 2005 auf fast 50 % ansteigen. Im Jahr 2020 wird nur noch ein Drittel der nachgefragten Steinkohle aus deutschen Zechen kommen.

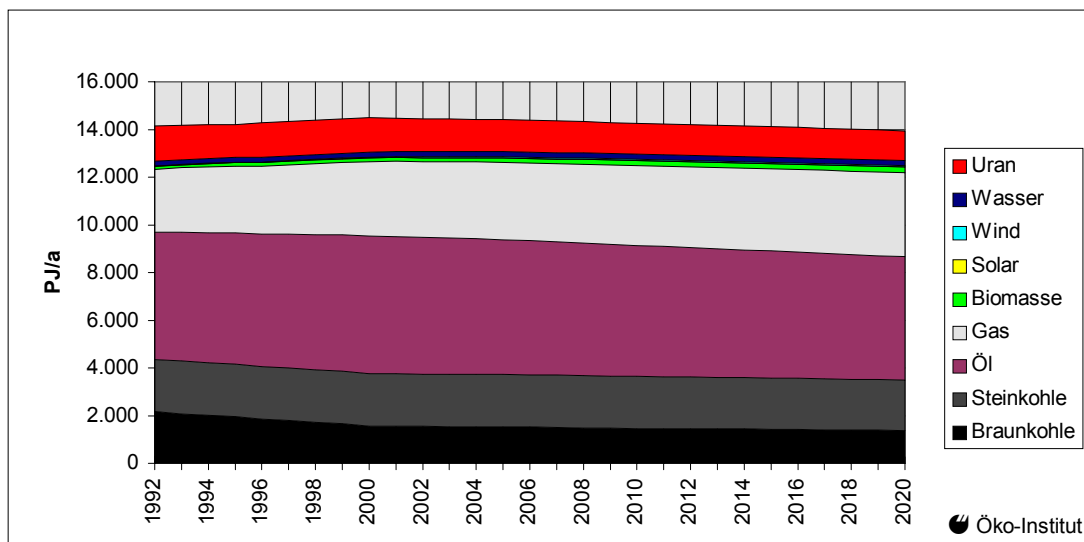
Bei den Erdgaskraftwerken wird mit dem höchsten Nettozubau gerechnet. Bereinigt um die zu erwartenden Abgänge von Altanlagen wird ihre Leistung um 8.900 MegaWatt zunehmen.

Der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung bleibt gering: Während der Anteil der Wasserkraft mit 4 % etwa konstant bleibt, kann der Anteil der Windenergie von ca. 0,1 % in 1992 auf 1,2 % in 2020 ausgebaut werden. Die angenommene installierte Leistung der Windkraftanlagen beträgt im Jahr 2020 insgesamt 3.800 MegaWatt. Die Photovoltaik wird in der Referenzentwicklung auf insgesamt 300 MegaWatt ausgebaut. Ihr Anteil an der Stromerzeugung ist jedoch selbst am Ende des Betrachtungszeitraums mit 0,05 % vernachlässigbar gering.

### 2.2.3 Primärenergiebedarf

Die Struktur des Primärenergiebedarfs im Referenz-Szenario ist in Abb. 2.2 dargestellt. Die gesamte Nachfrage nach Primärenergie steigt demnach bis zum Jahr 2000 geringfügig an. Anschließend bleibt der Bedarf über zehn Jahre hinweg etwa stabil, nach dem Jahr 2010 ist ein leichter Rückgang zu erwarten. Damit setzt sich der Trend einer weiteren Entkopplung von Primärenergiebedarf und Wirtschaftswachstum fort.

Abb. 0.2: Primärenergiebedarf im Referenz-Szenario



Quelle: Prognos 1995

Der Anteil erneuerbarer Energieträger an der gesamten Primärenergiebilanz bleibt im Referenz-Szenario gering: Er steigt von 2,3 % im Jahr 1992 auf 3,6 % im Jahr 2020. Etwa 1,2 % des Bedarfes werden durch Wasserkraft gedeckt.

### 2.2.4 CO<sub>2</sub>-Emissionen

Angesichts der drohenden Klimakatastrophe und dem von der Bundesregierung aufgestellten CO<sub>2</sub>-Reduktionsziel ist die Frage nach der Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Referenz-Szenario von besonderem Interesse. Die Tab. 2.5 zeigt, daß die zur Stabilisierung des Weltklimas erforderlichen Emissionsreduktionen bei weitem nicht erreicht werden.

Tab. 0.5: CO<sub>2</sub>-Emissionen im Referenz-Szenario

in Mio. t	1990	1992	2000	2005	2010	2015	2020
<b>Deutschland</b>							
Kraftwerke, Fernwärme	406	372	357	358	359	360	362
Industrie	181	148	131	128	126	126	128
Haushalte, Kleinverbrauch*)	194	184	185	179	173	169	164
Verkehr	184	190	223	224	221	215	209
sonst. Umwandlungsbereich	24	24	21	19	18	17	16
<b>Summe</b>	<b>990</b>	<b>918</b>	<b>917</b>	<b>909</b>	<b>897</b>	<b>886</b>	<b>880</b>
im Vergleich zu 1990		-7%	-7%	-8%	-9%	-10%	-11%
Reduktionsziele **)				742			495

\*) einschl. militärische Dienststellen

\*\*) Bundesregierung: minus 25 % bis 2005, Enquete-Kommission: minus 50% bis 2020

Quelle: Prognos 1995

Bis zum Jahr 2005 werden sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland demnach nur um rund 8 % gegenüber dem Wert von 1990 reduzieren. Der größte Anteil dieser Reduktion ist jedoch nicht auf eine erfolgreiche Klimaschutzpolitik der Bundesregierung zurückzuführen, sondern auf den wirtschaftlichen Zusammenbruch in den neuen Bundesländern. Dies wird daran erkennbar, daß fast 90 % der bis zum Jahr 2005 erreichbaren Emissionsreduktion bereits zwischen den Jahren 1990 und 1992 eingetreten

ist. Noch verheerender fällt die Bilanz bei einem Vergleich des mittelfristigen Reduktionsziels der Klima-Enquêtékommision bis zum Jahr 2020 aus: Statt einer Halbierung der Emissionen (hier für Gesamtdeutschland gegenüber dem Jahr 1990 gerechnet), erscheint nur eine Reduktion um 11 % erreichbar.

Auch Prognos nennt die CO<sub>2</sub>-Bilanz des Referenz-Szenarios "ernüchternd". Die Autoren ziehen aus dem scharfen Kontrast ihrer Ergebnisse zu den erklärten Zielen der Klimaschutzpolitik der Bundesregierung den Schluß, daß durch ihre Untersuchung der dringende Handlungsbedarf der für die deutsche Klimaschutz- und Energiepolitik aufgezeigt wird.

Besonders bemerkenswert ist, daß die angestrebte CO<sub>2</sub>-Reduktion im Referenz-Szenario **trotz des unveränderten Einsatzes der Atomenergie** weit verfehlt wird. Obwohl weiterhin das sogenannte "Restrisiko" in Kauf genommen wird, weiter Atommüll produziert wird und erhebliche Investitionsmittel in die Erneuerung der Atomkraftwerke fließen, gelingt es offenbar nicht, den Einsatz fossiler Energieträger so weit wie aus Gründen des Klimaschutzes notwendig zurückzudrängen.

Zudem ist zu bedenken, daß das unterstellte Neubauprogramm für Atomkraftwerke nur bei einem umfassenden gesellschaftlichen Konsens über die weitere Nutzung der Atomenergie denkbar ist. Ein solcher Konsens ist derzeit auch mittelfristig nicht in Sicht. Weiterhin scheint die Genehmigungsfähigkeit der heute erkennbaren neuen Reaktorlinie unter den Anforderungen des novellierten Atomgesetzes fragwürdig. Aus beiden Aspekten ist zu folgern, daß die von Prognos unterstellten Ersatzbauten für abgängige Atomkraftwerke voraussichtlich nicht oder nicht im erwarteten Umfang realisierbar sind. Eine Energiepolitik, die auf die weitere Nutzung der Atomenergie setzt, läuft also Gefahr, ab dem Jahr 2005 noch stärker als von Prognos vorgezeichnet auf den Einsatz fossiler Energieträger in der Stromerzeugung angewiesen zu sein. Damit würden die CO<sub>2</sub>-Emissionen noch höher ausfallen als im Referenz-Szenario.

In den folgenden Kapiteln soll daher ein Szenario entworfen werden, das ohne den Einsatz der Atomenergie die gesetzten Klimaschutzziele erreicht.

### 3 Der Sofortausstieg aus der Atomenergie ist möglich

In der Bundesrepublik Deutschland (alte und neue Bundesländer) waren 1994 rund 108 Gigawatt (GW)<sup>2</sup> Kraftwerksleistung installiert<sup>3</sup>. Davon entfielen 91% auf die Kraftwerke der deutschen Stromversorgungskonzerne (öffentliche Versorgung). Die restlichen 9% der installierten Kraftwerksleistung verteilen sich in nahezu gleichen Anteilen auf industrielle und auf Kraftwerksleistung, die über Bezugsverträge aus dem Ausland gesichert ist.

Am Tag der Höchstlast mußten nur etwa zwei Drittel der insgesamt installierten Kraftwerksleistung eingesetzt werden, um diese zeitlich begrenzte und nur einmal im Jahr auftretende Nachfragespitze zu decken. Zum Zeitpunkt der Höchstlast bestand im deutschen Kraftwerkspark eine freie Kraftwerksleistung von rund 37 Gigawatt. Dies entspricht der Leistung von 28 Großkraftwerken vom Typ Biblis B (Leistung 1.300 MW). Bei einer Nettoleistung der insgesamt 20 im Jahr 1994 betriebsbereiten Atomkraftwerke in der Bundesrepublik von ca. 20 Gigawatt wäre der Ausstieg also problemlos möglich gewesen, ohne daß es zu Versorgungsengpässen gekommen wäre.

In der folgenden Tabelle sind die Daten zur Leistungsbilanz im Kraftwerkspark zur Stromversorgung dargestellt.

Tab. 0.1: Leistungsbilanz im deutschen Kraftwerkspark (Stromerzeugung) am Tag der Höchstlast 1994

1994 [MW]	Engpaß- leistung	Eingesetzte Leistung am Tag der Höchstlast	Nicht genutzte Leistung
Kraftwerke der öffentlichen Versorgung	98.642	66.413	32.229
Industrieeinspeisung	5.187	3.047	2.140
Saldo Ausland *)	4.283	1.420	2.863
<b>Summe</b>	<b>108.112</b>	<b>70.880</b>	<b>37.232</b>
	100%	66%	34%

\*) Austauschsaldo positiv bedeutet: Energiebezug aus dem Ausland, Austauschsaldo negativ bedeutet: Energielieferung ins Ausland.

Quelle: BMWi 1996

<sup>2</sup> 1 Gigawatt (1 GW) entspricht 1.000 MegaWatt (MW) oder 1 Million Kilowatt (kW). Alle hier gemachten Angaben sind Nettoleistungen.

<sup>3</sup> Aktuelleres Zahlenmaterial über den in der Bundesrepublik installierten Kraftwerkspark steht nicht zur Verfügung. Auf Grundlage dieser Zahlenwerte für 1994 werden unter Berücksichtigung eines jährlichen Stromverbrauchsanstiegs von 1% die Daten auf 1996 hochgerechnet (s.u.).

Der Tag der Höchstlast trat 1994 in den neuen Bundesländern am 16. Februar und in den alten Ländern am 21. Dezember auf. In der hier dargestellten Bilanz des Kraftwerksparks wurden die Leistungsdaten der alten und neuen Bundesländer für den jeweiligen Tag der Höchstlast addiert. Diese Rechnung simuliert also einen "fiktiven" Tag, der bei einem Atomausstieg einen "worst case" darstellt. Die Leistungsbilanz liegt damit also in jedem Fall auf der sicheren Seite, d.h. tatsächlich lag die maximal in Anspruch genommene Leistung niedriger als hier bei den Berechnungen für den Atomausstieg zugrunde gelegt wurde.

Am so berechneten Tag der Höchstlast wurden also über 37.000 MW elektrische Leistung nicht benötigt, um die Stromnachfrage zu befriedigen. Dies entspricht 34 % der insgesamt installierten Kraftwerksleistung (Engpaßleistung) in der Bundesrepublik. Diese nicht genutzte Kraftwerkskapazität würde weiter steigen, wenn die im Ausland vertraglich gesicherte Bezugsleistung zum Zeitpunkt der Höchstlast in vollem Umfang eingesetzt worden wäre. Ob dies politisch gewollt und erstrebenswert ist, wäre vor dem Hintergrund eines dann sicherlich höheren Anteils von im Ausland produzierten Atomstromanteils zu diskutieren. Für die Ausstiegssdiskussion relevanter ist allerdings die Aussage, daß auch bei einem vollständigen Verzicht von Bezugsleistung aus dem Ausland der Ausstieg aus der Atomenergie ohne weiteres möglich gewesen wäre.

Zu berücksichtigen ist eine zum Zeitpunkt der Höchstlast **systembedingt nicht verfügbare Leistung** eines Teils des Kraftwerksparks. Unter der systembedingt nicht verfügbaren Leistung wird die Leistung verstanden, die bei Laufwasserkraftwerken wegen niedriger Wasserstände in den Flüssen oder in Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplung aufgrund der Wärmeauskopplung reduzierten elektrischen Energieerzeugung zu Leistungseinbußen führen. Für Laufwasserkraftwerke wurde eine Verfügbarkeit von 50 % der installierten Leistung (insgesamt 1.300 MW), für KWK-Anlagen von 80 % (rund 1.730 MW) unterstellt. Insgesamt waren also zum Zeitpunkt der Höchstlast systembedingt rund 3.000 MW nicht verfügbar.

Zum Zeitpunkt der Höchstlast standen in den deutschen Atomkraftwerken 20.000 MW Leistung zur Verfügung. Unter Berücksichtigung der systembedingt nicht verfügbaren Leistung, des nicht benötigten Auslandssaldos (ca. 2.800 MW) und der nach Abschalten der AKWs nicht zur Verfügung stehenden AKW-Leistung errechnet sich eine freie Leistung in Höhe von über 11.000 MW. Bezogen auf die eingesetzte Kraftwerksleistung steht damit eine Reserve in Höhe von 16 % zur Verfügung, (siehe Tab. 3.2). Die bei einem Ausstieg zur Verfügung stehende Reserveleistung erhöht sich auf 20 %, wenn die im Ausland gesicherte Leistung mit berücksichtigt wird.

Tab. 0.2: Ausstiegssbilanz am Tag der Höchstlast 1994 (ohne Auslandssaldo)

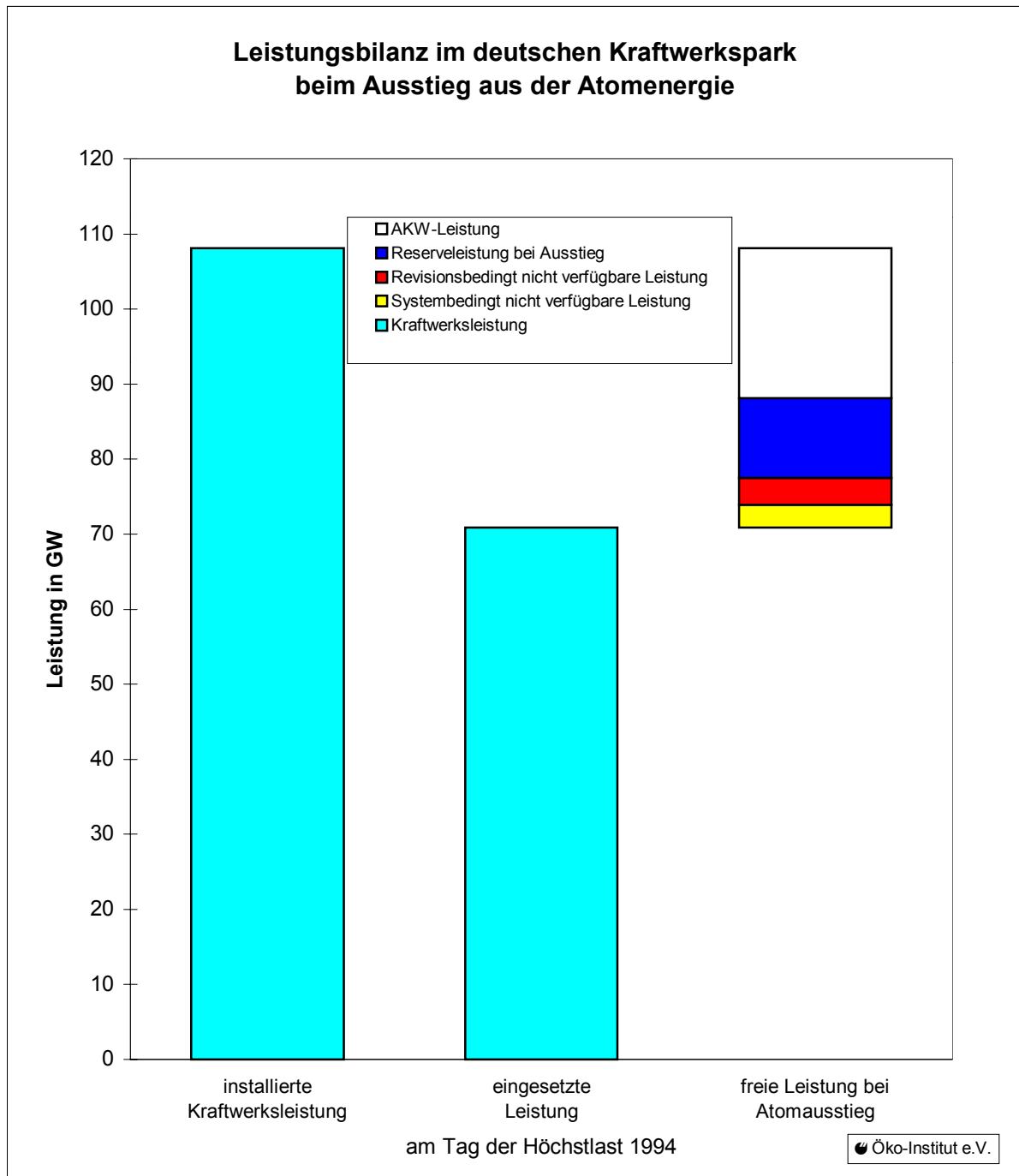
1994	[MW]
Summe nicht genutzte Leistung	37.232
Systembedingt nicht verfügbare Leistung	3.033
AKW-Leistung zum Zeitpunkt der Höchstlast	20.000
Saldo Ausland	2.863
freie Leistung	11.336
entspricht einer Reserveleistung *)	16,0%

\*) bezogen auf die eingesetzte Leistung am Tag der Höchstlast.

Quelle: BMWi 1995, Berechnungen des Öko-Instituts

Die folgende Grafik zeigt die Leistungsbilanz im deutschen Kraftwerkspark bei Abschalten aller Atomkraftwerke.

Abb. 0.1: Leistungsbilanz 1994



Quelle: BMWi 1995, Berechnungen des Öko-Instituts



Für 1996 führt diese Betrachtung unter Berücksichtigung eines 1%-igen jährlichen Strombedarfsanstiegs zum gleichem Ergebnis. Durch die endgültige Stilllegung des 1971 von der Preussen Elektra AG in Nordrhein-Westfalen errichteten Atomkraftwerks Würgassen hat sich die in Atomkraftwerken zur Verfügung stehende Leistung im Zeitraum von 1994 bis 1996 um 640 MW verringert.<sup>4</sup>

Eine Abschaltung aller in der Bundesrepublik installierten und in Betrieb befindlichen Atomkraftwerke ist also noch innerhalb des Jahres 1996 möglich, ohne daß es zu Engpässen bei der Stromversorgung kommen würde. Die Versorgungssicherheit ist auch beim sofortigen Ausstieg aus der Atomkraftnutzung jederzeit in vollem Umfang gewährleistet.

An der Notwendigkeit des Ausstieges hat sich ebenfalls nichts geändert (siehe Kasten).

Der Ausstieg aus der Atomenergie ist notwendig:

- Das Risiko eines schweren Unfalls mit verheerenden Folgen für die ganze Gesellschaft besteht auch in Deutschland, solange Atomkraftwerke am Netz sind.
- Auch fünfzig Jahre nach Beginn der Nutzung der Kernenergie ist das Atommüllproblem weiterhin ungelöst und Lösungen sind weltweit nicht in Sicht.
- Atommüll- und Castortransporte machen Schlagzeilen, weil sie gefährlich und Symbol des Entsorgungsnotstandes sind und nur unter massivem Einsatz staatlicher Gewalt gegen den Willen eines großen Teils der Bevölkerung durchgeführt werden können.
- Die Gefahr des militärischen Mißbrauchs des Atombrennstoffs besteht weiterhin. Beispiele für die Mißbrauch der "friedlichen Atomprogramme" zu militärischen Zwecken geben die Länder Brasilien, Pakistan, Indien und Nordkorea.
- Das Risiko an Strahlenkrankheiten zu erkranken, die durch radioaktive Emissionen aus dem Normalbetrieb und immer wieder auftretenden "kleineren" Störfällen verursacht werden können, sind nur zwei weitere Punkte, die mit der Atomenergienutzung untrennbar verbunden sind.

Diese Liste umfaßt nur einige der wichtigsten Gründe für einen Ausstieg aus der Atomenergie und ließe sich fortsetzen.

---

<sup>4</sup> Die Stilllegung des AKW Würgassen wurde von der Preussen Elektra mit den zu hohen Nachrüstkosten und der daraus resultierenden Unwirtschaftlichkeit begründet. Würgassen war das zweitälteste Atomkraftwerk in Deutschland, nur das AKW Obrigheim (Nettoleistung 340 MW) ist noch drei Jahre älter.

## 4 Die Nachfrageseite des Energiewende-Szenarios

### 4.1 Szenario-Annahmen zur Endenergienachfrage

#### 4.1.1 Haushalte

Grundlage für die Ermittlung des Endenergiebedarfs im Energiewende-Szenario der Haushalte ist die Referenzentwicklung nach Prognos (1995). Bei der Betrachtung wurden folgende Anwendungen differenziert:

- Raumwärme,
- Warmwasser,
- elektrische Geräte und
- Kochen.

Die Entwicklung des Endenergiebedarfs im Energiewende-Szenario wird dabei durch folgende Strategieelemente bestimmt:

- Konsequente Energieeinsparung in allen Anwendungsbereichen (Wärmedämmung, effizientere Geräte etc.);
- Rationelle Energienutzung durch die Erschließung von KWK-Potentialen;
- weitgehende Substitution von Strom in Wärmeanwendungen;
- Ausbau der Nutzung regenerativer Energiequellen, insbesondere Solarthermie;
- Substitution CO<sub>2</sub>-intensiver fossiler Energieträger durch weniger CO<sub>2</sub>-intensive.

Im folgenden werden nun gesondert für die einzelnen Anwendungen zunächst der Endenergiebedarf in der Referenzentwicklung dargestellt. Im Anschluß daran werden die (Abschätzungen der) aus den Strategieelementen des Energiewende-Szenarios resultierenden Reduktions- und Substitutionspotentiale gegenüber der Referenzentwicklung sowie die Entwicklung des Endenergiebedarfs im Energiewende-Szenario erläutert.

##### 4.1.1.1 Raumwärme

In der Referenzentwicklung steigt der Endenergiebedarf für Raumwärme bis 2005 zunächst weiter an. Erst danach ist ein leichter Rückgang zu verzeichnen. Insgesamt kann der Endenergiebedarf für Raumwärme bis zum Jahr 2020 um ca. 7% gegenüber 1992 reduziert werden.

Tab. 0.1: Endenergiebedarf der Haushalte für Raumwärme im Referenz-Szenario

in PJ	1992	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Fernwärme	140,0	143,6	149,5	150,1	147,3	144,8	143,0
Öl	749,6	745,1	737,6	707,0	673,1	643,4	611,8
Gas	646,8	714,9	828,3	850,5	834,9	809,6	772,1
Kohle, übrige feste Brennstoffe	196,6	164,3	110,5	80,4	61,6	56,2	54,0
Kohle	164,1	129,9	73,0	40,1	19,3	13,7	10,5
Steinkohle	30,6	28,2	24,1	14,6	8,6	5,8	4,3
Braunkohle	133,5	101,7	48,9	25,5	10,7	7,9	6,2
Karminholz	32,5	34,4	37,5	40,3	42,3	42,5	43,5
Strom	116,2	124,6	138,6	143,5	144,6	145,0	143,2
Nachtspeicher, Elektrowärmepumpe	102,9	110,0	121,7	125,0	125,9	126,0	124,2
Hilfsenergiezentralheizung	5,9	6,8	8,3	9,0	9,2	9,4	9,4
Direktheizung	7,4	7,9	8,6	9,5	9,5	9,6	9,6
Summe	1.849,2	1.892,4	1.964,5	1.931,5	1.861,5	1.799,0	1.724,1

Quelle: Prognos 1995:157

Die Entwicklungen des Endenergiebedarfs im Referenz-Szenario sind durch folgende Aspekte zu charakterisieren:

- Fernwärme bleibt sowohl hinsichtlich des Anteils am Energieträgermix als auch hinsichtlich des absoluten Bedarfs weitgehend konstant.
- Kohle wird weitgehend durch andere Energieträger substituiert.
- Öl und Gas vertauschen im Laufe des Szenarios ihre Rollen: während zunächst 41% des Endenergiebedarfs auf Öl und 35% auf Gas entfallen ist das Verhältnis im Jahre 2020 umgekehrt (35%/45%). Absolut betrachtet steigt dementsprechend der Gasbedarf um ca. 20% während der Ölbedarf um 18% zurückgeht.
- Der Strombedarf für Nachtspeicherheizung und Elektrowärmepumpen steigt bis zum Jahr 2000 um gut 20% an. Danach verändert sich das Niveau nur unwesentlich.

Diese Entwicklungen repräsentieren das 'business as usual'. Besondere Anstrengungen hinsichtlich der Klimaschutzes sind dabei nicht unterstellt.

Demgegenüber lassen sich jedoch durch einen verbesserten Wärmeschutz bzw. eine Beschleunigung der Erschließung von Wärmeschutzpotentialen deutliche Endenergieeinsparungen erzielen. Ein weiterer Baustein einer konsequenten Klimaschutzstrategie ist die Substitution von emissionsintensiven zu weniger emissionsintensiven Energieträgern sowie zu regenerativen Energiequellen.

Durch Wärmedämmung an Außenwänden, Dach und Kellergeschoßdecke sowie Wärmeschutzverglasung können erhebliche Einsparungen erzielt werden. Für die Einsparpotentiale im Bereich der Raumwärme liegen diverse Studien vor: Nach einer Studie für die Stadt Hannover (Öko-Institut/Wuppertal Institut 1994) kann der Endenergieverbrauch für Raumwärme bei Endenergiekosten von 1,5 bis 10 Pf/kWh um 66% reduziert werden. Das Institut für Wohnen und Umwelt (IWU 1995) schätzt die Einsparpotentiale im Bereich der Raumwärme im Rahmen einer Studie für die Enquete-Kommission ab. Danach liegen die wirtschaftlichen Einsparpotentiale bei Endenergiekosten von 13

Pf/kWh<sup>5</sup> im Westen bei 53 und im Osten bei 63%. Das technische Einsparpotential liegt deutlich über diesen Werten: im Westen bei 71% und im Osten bei 77% (IWU 1995: 206).

Da in der Referenzentwicklung der Endenergiebedarf lediglich um 7% zurückgeht, kann durch eine Verstärkung der Wärmedämmungen im Energiewende-Szenario eine deutliche Reduzierung erzielt werden. Wir gehen deshalb davon aus, daß wirtschaftlichen Einsparpotentiale im Laufe des Szenariozeitraumes weitgehend umgesetzt werden (Öko-Institut 1991, IWU 1995).

In den folgenden zwei Tabellen sind die für des Energiewende-Szenario unterstellten Reduktions- und Substitutionspotentiale dokumentiert.

Tab. 0.2: Reduktionspotential des Endenergieverbrauchs für Raumwärme

	2000	2005	2010	2015	2020
Fernwärme	-9%	-18%	-27%	-36%	-45%
Öl	-10%	-20%	-30%	-40%	-50%
Gas	-10%	-20%	-30%	-40%	-50%
Kohle, übrige feste Brennstoffe					
Kohle, sonstige feste Brennstoffe	-2%	-4%	-6%	-8%	-10%
Kaminholz					
Strom					
Nachtspeicher, Elektrowärmepumpe	-9%	-18%	-27%	-36%	-45%
Hilfsenergiezentralheizung	-16%	-32%	-48%	-64%	-80%
Direktheizung	-9%	-18%	-27%	-36%	-45%

Quelle: Berechnungen und Abschätzungen des Öko-Instituts

Tab. 0.3: Substitutionspotential des Endenergieverbrauchs für Raumwärme

	2000	2005	2010	2015	2020
Substitution von Kohle ...	20%	40%	60%	80%	100%
zu Fernwärme	10,0%	20,0%	30,0%	40,0%	50,0%
zu Gas	10,0%	20,0%	30,0%	40,0%	50,0%
Substitution von Strom ...	20%	40%	60%	80%	100%
zu Fernwärme	10,0%	20,0%	30,0%	40,0%	50,0%
zu Gas	10,0%	20,0%	30,0%	40,0%	50,0%
Substitution von Öl ...	5%	10%	15%	20%	25%
zu Fernwärme	2,0%	4,0%	6,0%	8,0%	10,0%
zu Solarthermie	3,0%	6,0%	9,0%	12,0%	15,0%
Substitution von Gas zu Solarthermie			3%	6%	10%

Quelle: Berechnungen und Abschätzungen des Öko-Instituts

<sup>5</sup> Dieser Endenergiepreis unterstellt die Einführung einer Energiesteuer.

Den Einspar- und Substitutionspotentialen liegen folgende Überlegungen zugrunde:

- Durch eine Verbesserung des Wärmeschutzes (Verschärfung der Wärmeschutzverordnung) sowie durch eine beschleunigte Umsetzung bekannter Wärmeschutzpotentiale z.B. durch die Ausdehnung der Wärmeschutzverordnung auf den Altbaubestand können gegenüber der Referenzentwicklung gut 40% des Endenergiebedarfs eingespart werden.
- Weitere Einsparungen ergeben sich durch Effizienzpotentiale in den Heizsystemen (Brennwertkessel etc.). Für Öl- und Gasheizungen liegen diese Einsparungen bei rund 10%. Bei Fernwärme und Strom liegen diese Potentiale etwas geringer bei lediglich 5%.
- Die Einsparpotentiale bei Kohle sind sehr gering, da hier die Heizsystem in der Regel durch andere Systeme ersetzt werden.
- Strom als sehr wertvolle Energieform für Niedertemperaturwärme wird im Laufe des Szenariozeitraums durch Fernwärme oder Gas vollständig substituiert.
- Die Nutzung von Sonnenenergie durch solarthermische Anlage wird insbesondere in der zweiten Hälfte des Szenarios deutlich ausgebaut. Dabei wird Ausbau der Solarenergie vor allem auch durch die Einspeisung in Nahwärmesystem vorangetrieben.

Insgesamt geht der Endenergieverbrauch der Haushalte für Raumwärme im Energiewende-Szenario um fast Hälfte (48%) gegenüber der Referenzentwicklung zurück. Darüber hinaus ergeben sich Veränderungen im Endenergieträgermix:

Tab. 0.4: Endenergiebedarf der Haushalte für Raumwärme im Energiewende-Szenario

in PJ	1992	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Fernwärme	140,0	143,6	168,3	175,5	170,9	163,3	150,8
Öl	749,6	745,1	630,6	509,0	400,5	308,8	229,4
Gas	646,8	714,9	764,5	710,2	602,0	496,4	389,0
Kohle, übrige feste Brennstoffe	196,6	164,3	94,7	63,4	49,6	45,0	43,5
Kohle	164,1	129,9	57,2	23,1	7,3	2,5	
Steinkohle	30,6	28,2	18,9	8,4	3,3	1,1	
Braunkohle	133,5	101,7	38,3	14,7	4,0	1,4	
Karminholz	32,5	34,4	37,5	40,3	42,3	42,5	43,5
Strom	116,2	124,6	101,8	72,3	44,3	20,7	1,9
Nachtspeicher, Elektrowärmepumpe	102,9	110,0	88,6	61,5	36,8	16,1	
Hilfsenergiezentralheizung	5,9	6,8	7,0	6,1	4,8	3,4	1,9
Direktheizung	7,4	7,9	6,3	4,7	2,8	1,2	
Solarthermie			19,9	33,9	59,9	75,5	84,5
Summe	1.849,2	1.892,4	1.779,9	1.564,3	1.327,2	1.109,7	899,0

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

Die Entwicklung des Endenergiebedarfs im Energiewende-Szenario ist dabei durch folgende Gesichtspunkte gekennzeichnet:

- Der Bedarf an Fern- und Nahwärme steigt insgesamt nur leicht an. Bedingt durch den absoluten Rückgang des Endenergiebedarfs erhöht sich jedoch der Anteil der Fern- und Nahwärme von etwa 8% im Referenz- auf 17% im Energiewende-Szenario.
- Während der Gasbedarf im Referenz-Szenario leicht ansteigt sinkt er im Energiewende-Szenario um etwa 40% gegenüber 1992. Anteilsmäßig ist jedoch die Bedeutung von Gas im Referenz- und im Energiewende-Szenario vergleichbar (45 bzw. 43%).
- Strom wurde im Bereich der Niedertemperaturwärme (Nachtspeicher- und Direktheizung, sowie Elektrowärmepumpe) vollständig verdrängt.
- Der Anteil von Solarwärme steigt auf fast 10%.

Durch eine konsequente Orientierung auf den Klimaschutz können also gerade im Bereich der Raumwärme erhebliche Einsparpotentiale mobilisiert werden. Neben der weitreichenden Erschließung der Einsparpotentiale wirkt sich dabei vor allem auch der Umstieg zu weniger emissionsintensiven Endenergeträgern um: Kohle und insbesondere Strom wurden durch den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung und die Nutzung solarer Nahwärme ersetzt.

#### 4.1.1.2 Warmwasser

In der Referenzentwicklung bleibt der Endenergiebedarf für Warmwasser praktisch konstant. Die Energieträgerstruktur bei der Warmwasserbereitung ist dabei auch nur leichten Veränderungen unterworfen. Während die Anteil von Fernwärme und Strom weitgehend konstant bleiben, verschiebt sich der Anteil von Öl leicht und von Kohle stark zu Gas.

Die Einsparpotentiale im Bereich der Warmwasserbereitung sind in Abhängigkeit von den Endenergeträgern unterschiedlich groß. Für Fernwärme und Strom können gegenüber der Referenzentwicklung nur geringe Effizienzverbesserungen erzielt werden. Bei zentralen Öl- und Gassystemen sind allerdings weitergehende Verbesserungen erzielbar (ebök/LfE 1990).

Tab. 0.5: Reduktionspotential des Endenergieverbrauchs für Warmwasser gegenüber der Referenzentwicklung

	2000	2005	2010	2015	2020
Fernwärme	-1%	-2%	-2%	-3%	-4%
Öl	-8%	-15%	-23%	-30%	-38%
Gas	-8%	-16%	-24%	-32%	-40%
Kohle	0%	0%	0%	0%	0%
Strom	0%	-1%	-1%	-2%	-2%

Quelle: Berechnungen und Abschätzungen des Öko-Instituts

Neben der Realisierung von Einsparpotentialen können weitere Beiträge zur Emissionsminderung durch die Substitution bzw. den Energieträgerwechsel erzielt werden. Im Energiewende-Szenario wird daher parallel zur Entwicklung bei der Raumwärme Kohle vollständig aus der Warmwasserbereitung

verdrängt. Entsprechend den Einschätzungen der Stadtwerke Hannover (Öko-Institut/Wuppertal-Institut 1994) wird außerdem unterstellt, daß 40% der strombasierten System substituiert werden können.

Im Zuge des strategischen Ausbaus der Nutzung regenerativer Energiequellen können insbesondere im Bereich der Warmwasserbereitung große Beiträge erzielt werden. Angesichts der Tatsache, daß inzwischen einige Kommunen bzw. Landesregierungen (z.B. Berlin) begonnen haben, bei der Warmwasserbereitungssystemen in Neubauten einen solaren Deckungsanteil von 60% vorzuschreiben, wird für das Energiewende-Szenario auch eine deutliche Substitution zu solaren Systemen unterstellt.

Tab. 0.6: Substitutionspotential des Endenergieverbrauchs für Warmwasser gegenüber der Referenzentwicklung

	2000	2005	2010	2015	2020
Strom zu Gas	8,0%	16,0%	24,0%	32,0%	40,0%
Kohle zu Gas	20,0%	40,0%	60,0%	80,0%	100,0%
Gas zu Solar	6,0%	12,0%	18,0%	24,0%	30,0%
Quelle: Berechnungen und Abschätzungen des Öko-Instituts					

Insgesamt kann durch die unterstellten Maßnahmen im Energiewende-Szenario der Endenergiebedarf für Warmwasser um fast 30% gegenüber der Referenzentwicklung reduziert werden. Der Anteil des Stroms geht dabei von 22 im Referenz- auf 18% im Energiewende-Szenario zurück. Der solare Anteil steigt zu Lasten von Gas und Öl auf rund 10% im Jahre 2020.

#### 4.1.1.3 Elektrische Geräte

Der Anteil des Stromverbrauchs elektrischer Geräte am gesamten Endenergieverbrauch der Haushalte liegt im Jahr 1992 bei rund 10%. In der Referenzentwicklung bleibt dieser Anteil weitgehend konstant. Aufgrund steigender Geräteausstattungen der Haushalte und nur mäßiger Verbesserung der Geräteeffizienz sinkt der Stromverbrauch im Referenz-Szenario nur geringfügig um 9%.

Damit allerdings werden die kosteneffizienten Sparpotentiale, die im Gerätebestand liegen, nur zum Teil ausgeschöpft.

Als Grundlage für die Effizienzbetrachtungen bei Haushaltsgeräten dienen Studien, die im Rahmen der LCP-Fallstudie der Stadtwerke Hannover (Öko-Institut/Wuppertal Institut 1995) erstellt wurden. Die wichtigsten Spartechniken werden nachfolgend kurz dargestellt.

Bei Kühlanwendungen (Kühl- und Gefriergeräte, Kombination) liegen Stromsarpotentiale in der besseren thermischen Isolation und effizienteren Kompressoren sowie Wärmetauschern. In den nächsten Jahren werden durch FCKW-freie "Super-Isolation" mit hochevakuierten Sandwich-Dämmmaterialien weitere Verbesserungen erwartet.

Ein weiterer Bedarfsschwerpunkt liegt bei Waschmaschinen. Über heute marktbeste Geräte hinaus erlauben sparsamere Motoren und Pumpen sowie eine bessere Wärmedämmung des Waschbehälters, den Bedarf gegenüber dem heutigen Bestand um 60% zu senken.

Bei Geschirrspülern ergeben sich durch Ersatz mit marktbesten Geräten gegenüber dem heutigen Bestand rd. 32% Verbrauchsreduktion. Auch bei den Spülgeräten sind Verbesserungen (Wärmedämmung, Programptimierung) möglich, die zu rd. 58% weniger Stromverbrauch führt.

Im Vordergrund der Beleuchtung stehen derzeit Glühbirnen, deren Lichtausbeute (in Lumen) pro Watt Leistungsaufnahme bei 12-15 lm/W liegt. Sparsamere Kompakt-Fluoreszenz-Lampen (KFL) weisen neben einer Lichtausbeute von 45-75 lm/W (entspricht rd. 75% Einsparung) auch eine deutlich längere Lebensdauer als Glühbirnen auf. Als weitere Verbesserung sind elektronische Vorschaltgeräte zu nennen, die die Lichtausbeute der KFL um 25% erhöhen und zudem flimmerfreien Betrieb und flackerfreien Start garantieren. Diese Systeme erreichen mit 60-75 lm/W eine Stromeinsparung von über 80% gegenüber der Glühlampe. Schließlich bringen KFL, deren Lichtspektrum im Frequenzbereich der drei Farbrezeptoren des menschlichen Auges jeweils ein Maximum aufweisen (Drei-Banden-Lampe) eine Lichtausbeute von 95 lm/W, dies entspricht einer Stromeinsparung von fast 90%.

Diese Sparpotentiale werden nach der folgenden Entwicklungslogik erschlossen:

- Für 2000 wird mit einem Gerätebestand gerechnet, der sich zu 50% aus den marktbesten Geräten des Jahres 1992 und zu 50 % aus bestehenden zusammensetzt.
- Für 2010 wird ein Bestand von 100% marktbesten Geräte angesetzt.
- Im Jahr 2020 wird ein Gerätebestand aus 50% marktbesten Neugeräten und 50% verbesserten Neugeräten unterstellt. Die verbesserten Geräte sind schon heute zum Teil als Prototyp verfügbar, werden aber noch nicht in Großserie gebaut.



Eine Übersicht zu den im Energiewende-Szenario verwendeten Einsparpotentialen gibt die folgende Tabelle.

Tab. 0.7: Reduktionspotential des Endenergieverbrauchs für elektrische Geräte

	2000	2005	2010	2015	2020
Kühlschrank	-15,0%	-30,0%	-45,0%	-60,0%	-75,0%
Kühl-Gefriergerät	-13,2%	-26,4%	-39,6%	-52,8%	-66,0%
Gefriergerät	-16,0%	-32,0%	-48,0%	-64,0%	-80,0%
Geschirrspüler	-7,4%	-14,8%	-22,2%	-29,6%	-37,0%
Waschmaschine/-trockner	-7,6%	-15,2%	-22,8%	-30,4%	-38,0%
Wäschetrockner	-7,0%	-14,0%	-21,0%	-28,0%	-35,0%
TV	-12,0%	-24,0%	-36,0%	-48,0%	-60,0%
Beleuchtung	-12,0%	-24,0%	-36,0%	-48,0%	-60,0%
Sonstige	-8,0%	-16,0%	-24,0%	-32,0%	-40,0%

Quelle: Berechnungen und Abschätzungen des Öko-Instituts

Die größten absoluten Einsparmöglichkeiten ergeben sich neben den sonstigen Anwendungen<sup>6</sup> insbesondere bei den Kühlgeräten. Insgesamt kann durch die unterstellten Maßnahmen der Stromverbrauch elektrischer Geräte um 40% mehr reduziert werden als in der Referenzentwicklung. Bezogen auf das Jahr 1992 bedeutet dies eine Reduktion um fast 50%.

#### 4.1.1.4 Kochen

Im Referenz-Szenario sinkt der Endenergieverbrauch bis zum Jahr 2020 um etwa 20%. Gleichzeitig setzen sich Elektroherde zunehmend gegenüber Gasherden durch.<sup>7</sup> Der Anteil der Elektroherde steigt von zwei Drittel im Jahre 1992 auf über vier Fünftel im Jahre 2020.

Demgegenüber können sowohl bei Elektro- als auch bei Gasherden weitere Einsparungen durch effizienter Geräte (Infrarot-Platten, Glaskeramik, besser gedämmte Backöfen bzw. Backöfeneinschübe etc.) erzielt werden. Bei Elektroherden können außerdem durch automatische Topferkennung oder durch Induktionsherde, bei denen nicht eine Kochplatte sondern nur der Topf selbst durch elektromagnetische Wechselfelder erwärmt wird, Einsparungen bis zu 50% erzielt werden (Stromthemen 4/96).

Darüber hinaus kann im Bereich Kochen durch eine Substitution von Elektro- und Kohleherden zu Gasgeräten, da diese primärenergetisch günstiger arbeiten, eine wichtiger Beitrag zur Emissionsminderung geleistet werden. Neuere Entwicklungen in der Gaskochtechnik (z.B. indirekte Erwärmung) sind zudem hinsichtlich der Innenraumbelastung durch Verbrennungsabgase unbedenklich und dürften aufgrund des reduzierten Risikos auf hinreichenden Akzeptanz stoßen.

In den folgenden Tabellen sind die Entwicklungen der Reduktions- und Substitutionspotentiale bis zum Jahre 2020 dargestellt.

<sup>6</sup> Dazu gehören z.B. folgende Geräte: Wäscheschleuder, Radio, HiFi, Video, Bügelmaschine, Bügeleisen, Staubsauger, Kaffeemaschine, Dunstabzugshaube, Mikrowelle, PC, Grill und übrige Anwendungen.

<sup>7</sup> Kohleherde haben bereits 1992 nur noch untergeordnete Bedeutung.

Tab. 0.8: Reduktionsspotential des Endenergieverbrauchs für das Kochen

	2000	2005	2010	2015	2020
Strom	-7%	-13%	-20%	-26%	-33%
Gas	-5%	-10%	-14%	-19%	-24%
Kohle	0%	0%	0%	0%	0%

Quelle: Berechnungen und Abschätzungen des Öko-Instituts

Tab. 0.9: Substitutionsspotential des Endenergieverbrauchs für das Kochen

	2000	2005	2010	2015	2020
Strom zu Gas	8%	16%	24%	32%	40%
Kohle zu Gas	20%	40%	60%	80%	100%

Quelle: Berechnungen und Abschätzungen des Öko-Instituts

Insgesamt kann durch entsprechende Maßnahmen im Bereich Kochen der Endenergieverbrauch um gut 30% gegenüber der Referenz reduziert werden. In etwas mehr als der Hälfte der Haushalte wird dabei im Jahre 2020 mit Gas gekocht. Dementsprechend liegt der Anteil von Haushalten mit elektrischen Herden bei rund 47%.

#### 4.1.1.5 Endenergieverbrauch der Haushalte insgesamt

Insgesamt sinkt der Endenergieverbrauch der Haushalte im Referenz-Szenario zwischen 1992 und 2020 lediglich um 7% (bezogen auf 1995 -9%). Die Anteile von Strom (ca. 20%) und Fernwärme (7%) bleiben dabei weitgehend konstant. Verschiebungen ergeben sich bis 2020 vor allem zwischen Öl und Gas. Der Anteil der Öl sinkt um 5% auf 30%, der Anteil von Erdgas steigt dagegen um fast 10% auf 40%.

Tab. 0.10: Endenergieverbrauch der Haushalte im Referenz-Szenario (in PJ)

	1992	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Fernwärme	160,3	163,9	170,0	170,6	167,6	164,9	163,0
Öl	829,2	823,5	814,0	780,9	744,9	712,1	677,3
Gas	752,0	823,4	942,3	964,2	947,9	922,4	883,4
Kohle	171,4	135,9	76,7	43,3	22,1	15,7	12,0
Karminholz	32,5	34,4	37,5	40,3	42,3	42,5	43,5
Strom	442,2	452,7	470,4	465,1	457,7	455,5	449,5
Solarthermie							
Insgesamt	2.387,6	2.433,8	2.510,9	2.464,3	2.382,6	2.313,2	2.228,6

Quelle: Prognos 1995, Berechnungen des Öko-Instituts

Demgegenüber kann im Energiewende-Szenario bis zum Jahr 2020 der Endenergieverbrauch gegenüber 1995 um fast die Hälfte reduziert werden. Das entspricht einem um 44% höheren Verbrauchsrückgang als in der Referenzentwicklung. Der Stromverbrauch der Haushalte kann in diesem Zeitraum allerdings noch stärker verringert werden. Dies neben zusätzlichen Effizienzverbesserungen für Stromanwendungen ist vor allem auf die systematische Substitution von Strom in Wärmeanwendungen zurückzuführen.

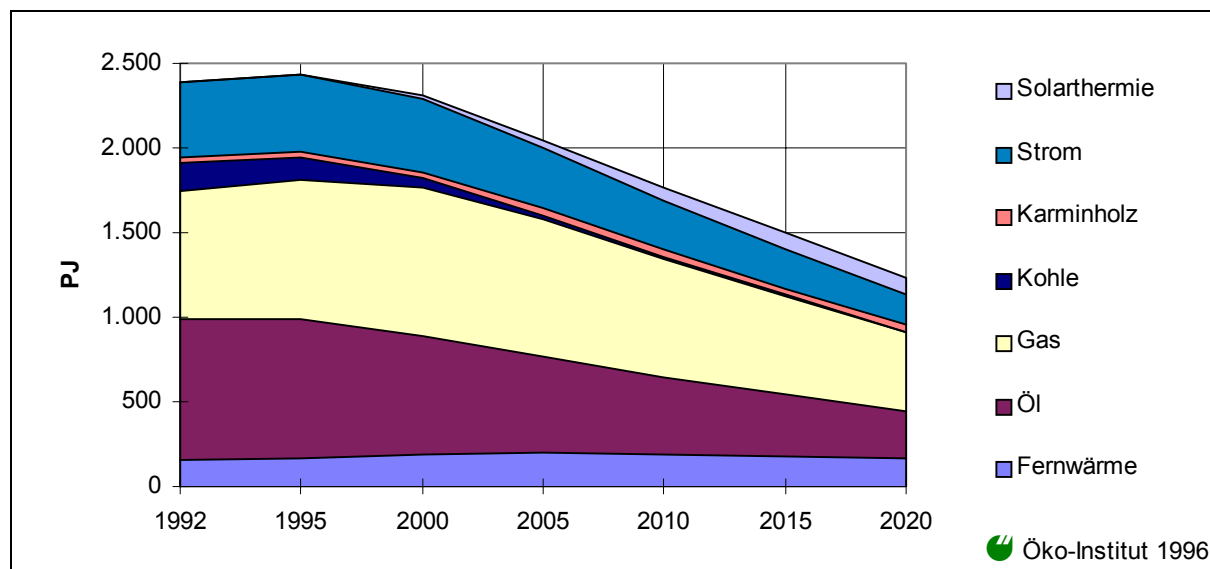
Tab. 0.11: Endenergieverbrauch der Haushalte im Energiewende-Szenario (in PJ)

	1992	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Fernwärme	160,3	163,9	188,7	195,6	190,7	182,8	170,0
Öl	829,2	823,5	701,2	571,7	455,9	356,6	270,0
Gas	752,0	823,4	873,2	812,8	698,7	587,2	473,0
Kohle	171,4	135,9	60,2	25,0	8,4	2,9	
Karminholz	32,5	34,4	37,5	40,3	42,3	42,5	43,5
Strom	442,2	452,7	423,8	356,6	292,4	232,9	178,3
Solarthermie			25,4	44,2	73,9	92,2	102,9
Insgesamt	2.387,6	2.433,8	2.310,0	2.046,3	1.762,3	1.497,1	1.237,7

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

Die konsequente Verfolgung emissionsmindernder Maßnahmen (Effizienz und Substitution) führt zu einer starken Veränderung des Endenergiemixes: Fernwärme kann bis 2020 seinen Anteil von 7 auf 14% verdoppeln. Die Bedeutung von Strom geht parallel von 19 auf 14% zurück. Ähnlich wie in der Referenzentwicklung geht der Anteil von Öl zurück während gleichzeitig der Anteil des Erdgases steigt. Bemerkenswert ist darüber hinaus, daß selbst bei massiver Einführung solarthermischer Systeme der Anteil am Endenergiemix lediglich auf 8% ansteigt. Die Entwicklung der Endenergiestruktur im Energiewende-Szenario ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

Abb. 0.1: Endenergieverbrauch der Haushalte im Energiewende-Szenario



## Kleinverbrauch

Im Sektor Kleinverbrauch werden alle energienutzenden Aktivitäten zusammengefaßt, die nicht den anderen Sektoren (Haushalte, Industrie und Verkehr) zugerechnet werden können. Er umfaßt land- und forstwirtschaftliche Betriebe, Handwerk, Baugewerbe, industrielle Kleinbetriebe sowie den gesamten privaten und staatlichen Dienstleistungsbereich, für den eine hohe Wachstumsdynamik für die Zukunft vorausgesagt wird. Der Kleinverbrauch zeichnet sich deshalb durch große Heterogenitäten bzgl. der Art des Energieverbrauchs und der energetischen Verwendungszwecke aus.

Der Energieverbrauch dieses Sektors ist nicht, wie der Name vielleicht suggeriert, klein sondern hat derzeit (1992) am gesamten Endenergieverbrauch in der Bundesrepublik einen Anteil von 17%. Dies entspricht einer Energiemenge von 1.531 PJ, die sich zu knapp einem Viertel (24% oder 372 PJ) auf den elektrischen Energieverbrauch und zu ca. 1.160 PJ auf den Brennstoffverbrauch aufteilen.

Bis zum Jahr 2020 rechnet Prognos für den Kleinverbrauch in der Referenzentwicklung mit folgender Entwicklung des Endenergieverbrauchs:

- Der Endenergieverbrauch im Sektor Kleinverbrauch wird bis zum Jahr 2020 um 8 % ansteigen.
- Dabei wird eine gegenläufige Entwicklung einer geringen Energieeinsparung bei den Brennstoffen (- 3%) und eines deutlichen Anstiegs des elektrischen Energieverbrauchs (+ 42 %) erwartet, so daß
- im Jahr 2020 der Anteil der elektrischen Energie am Endenergieverbrauch auf rund ein Drittel (529 PJ) gegenüber einem Viertel 1992 (372 PJ) wachsen wird (bei einem um 8 % gestiegenen Verbrauchsniveau (s.o.)).

Diese nach Prognos zu erwartende Verbrauchsentwicklung unterstellt energetische Effizienzverbesserungen in dem Maße, wie sie im Trend durch den Austausch verbesserter (energieeffizienterer) Geräte und den Einsatz neuer Techniken zu erwarten ist. Diese spezifischen Einsparungen werden aber oftmals durch die zu erwartenden Zuwächse kompensiert bzw. sogar überkompensiert.

Im Gegensatz zu dieser Trendentwicklung wird im Energiewende-Szenario eine forcierte Umsetzung der wirtschaftlichen Einsparpotentiale und die Substitution von CO<sub>2</sub>-intensiven Energieträgern unterstellt. Bei den Berechnungen wird im Sektor Kleinverbrauch nach alten und neuen Bundesländern unterschieden. Im folgenden werden die bei der Energieträgersubstitution und der Energieeinsparung im Energiewende-Szenario unterstellten Annahmen dargestellt.

### Energieeinsparung

Im Bereich des Kleinverbrauchs wird mit den in Tab. 4.12 angegebenen Einsparpotentialen gerechnet. Es wird dabei von folgenden Annahmen ausgegangen:

- Es wird unterschieden zwischen den Einsparpotentialen im Bereich der Brennstoffe und der elektrischen Energie.
- Im Bereich der Brennstoffe werden unabhängig von der Art des eingesetzten Brennstoffes gleiche Einsparraten unterstellt.
- Es wird nach insgesamt 10 verschiedenen Anwendungszwecken (Raumwärme, Warmwasser, Kühlen, Licht etc.) unterschieden.
- Die im Westen angenommenen Einsparpotentiale beruhen im wesentlichen auf den Annahmen, die im Ökologie-Szenario der LCP-Fallstudie Hannover getroffen werden (Öko-Institut/Wuppertal Institut 1995). Da in der LCP-Fallstudie ein Zeitraum bis 2010 betrachtet wird, sind im Energiewende-Szenario geringfügig höhere Umsetzungsraten angenommen.
- Im Unterschied zu den alten Bundesländern werden im Bereich der Brennstoffe in den neuen Ländern aufgrund des im allgemeinen schlechteren energetischen Standards um rund 10 % höhere Einsparpotentiale angenommen.
- Im Bereich des elektrischen Energieverbrauches liegen die Einsparpotentiale in den neuen Ländern um rund 10 % niedriger als im Westen. Dies ist einerseits mit dem niedrigeren Elektrifizierungsgrad und andererseits mit dem jetzt im verstärkten Maße stattfindenden Austausch von elektrischen Geräten und Maschinen zu begründen. Bei Neuanschaffungen (Wachstum der Sättigungsraten auf westdeutsches Niveau) und Austausch von Geräten werden im Durchschnitt energieeffizientere Geräte angeschafft als derzeit im Westen installiert sind.

Tab. 0.12: Einsparpotentiale im Bereich Kleinverbrauch

	Alte Bundesländer		Neue Bundesländer	
	Brennstoffe	Strom	Brennstoffe	Strom
Raumwärme	36%	39%	40%	35%
Warmwasser	22%	17%	24%	15%
Kühlen	0%	48%	0%	43%
Licht	0%	33%	0%	30%
Lüftung/Ventilation	0%	41%	0%	37%
Bürogeräte	0%	60%	0%	54%
Küchen, Kantinen	18%	37%	20%	33%
Kraft	0%	32%	0%	29%
Prozeßwärme	34%	18%	37%	16%
Sonstige	22%	19%	24%	17%

Quelle: Öko-Institut/Wuppertal Institut 1995, Berechnungen des Öko-Instituts

### Energieträgersubstitution

Folgende Tabelle gibt die im Energiewende-Szenario unterstellte Substitutionsraten in den Anwendungsbereichen Raumwärme und Warmwasser an.

Tab. 0.13: Energieträgersubstitution im Bereich Kleinverbrauch

Energieträgersubstitution	Raumwärme		Warmwasser	
	ABL	NBL	ABL	NBL
von Kohle zu Gas	50%	30%	50%	30%
von Kohle zu Fernwärme	50%	70%	50%	70%
von Strom zu Gas	40%	30%	25%	30%
von Strom zu Fernwärme	60%	70%	40%	50%
von Öl zu Fernwärme	50%	80%	30%	30%

Quelle: Abschätzungen des Öko-Instituts

Ziel einer am Klimaschutz orientierten Energiepolitik muß es in Zukunft sein, kohlenstoffhaltige und damit auch bei der Verbrennung CO<sub>2</sub>-intensive Energieträger insbesondere durch den Anschluß an Nah- bzw. Fernwärmenetze zu substituieren. In dem Maße, wie diese Ausbaustrategie (Anschluß an Nah- bzw. Fernwärmenetze), die eine Voraussetzung für den Einsatz kraft-wärme-gekoppelter Systeme ist, beispielsweise in wenig verdichteten Bebauungsgebieten an ihre (ökonomische) Grenze stößt, sollte Erdgas eingesetzt werden. Da in den neuen Bundesländern der Ausbau der Gasversorgung noch nicht in dem Ausmaß vorangeschritten ist wie im westlichen Teil der Bundesrepublik und der Fernwärmeanteil ohnehin höher liegt als im Westen, wird für die neuen Bundesländer mit höheren Substitutionsraten bei der Umstellung auf Fernwärme gerechnet (siehe Tabelle). In den neuen Bundesländern liegt das Verbrauchsniveau insbesondere bei Kohleheizungen noch deutlich höher als im Westen, so daß der Effekt der Energieträgersubstitution "weg von der Kohle" im Osten größer ist als im Westen.

### Der Endenergieverbrauch im Kleinverbrauch im Energiewende-Szenario

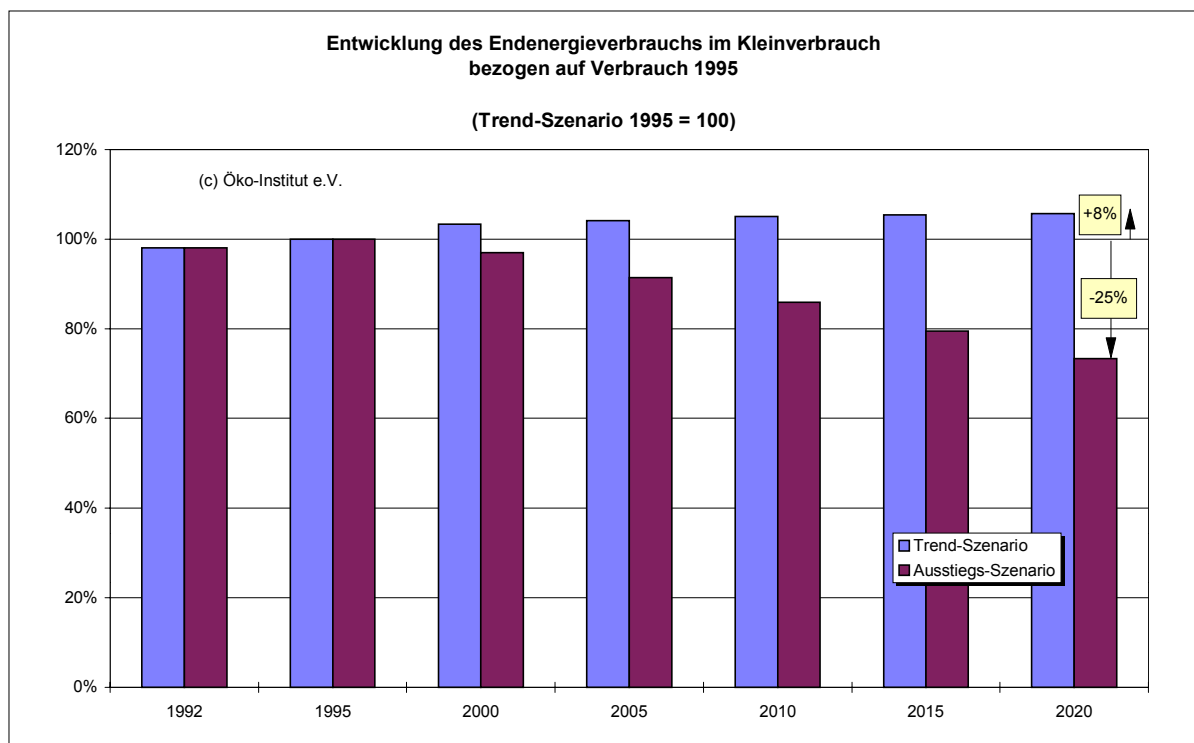
Unter der Annahme der oben erläuterten Substitutions- und Einsparraten wird sich der Endenergieverbrauch im Sektor Kleinverbrauch gegenüber der Referenzentwicklung folgendermaßen entwickeln.

- Der Endenergieverbrauch kann bezogen auf 1995 um ein Viertel gesenkt werden. Gegenüber dem von Prognos erwarteten Verbrauchsniveau in 2020 liegt der Endenergieverbrauch im Energiewende-Szenario in diesem Sektor um rund 30 % niedriger.
- Bezogen auf das Basisjahr 1995 kann der Stromverbrauch im Energiewende-Szenario um ein Fünftel im Jahr 2020 gesenkt werden. Dieser deutliche Unterschied zwischen Energiewende-Szenario mit einer um 20 % niedrigeren Stromnachfrage und dem Trendszenario, in dem mit einer 20 %-igen Stromverbrauchssteigerung gegenüber 1995 gerechnet werden muß, zeigt, wie hoch die Einsparpotentiale sind. Bemerkenswert ist, daß sich in beiden Szenarien das *Energiedienstleistungsniveau* nicht unterscheidet.

- Der Brennstoffbedarf liegt im Energiewende-Szenario im Jahr 2020 um 29 % niedriger als 1995.

In folgender Abbildung ist die Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Bereich Kleinverbrauch im Energiewende-Szenario gegenüber der Referenzentwicklung dargestellt.

Abb. 0.2: Endenergieverbrauch im Sektor Kleinverbrauch im Energiewende-Szenario gegenüber der Referenzentwicklung



Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

Die folgenden zwei Tabellen fassen den Endenergieverbrauch nach Anwendungszweck und nach Energieträgern zusammen.

Tab. 0.14: Endenergieverbrauch im Sektor Kleinverbrauch im Energiewende-Szenario nach Anwendungszweck

[PJ]	1992	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Raumwärme	783	780	718	631	549	479	413
Warmwasser	200	208	212	215	220	210	203
Kühlen	30	32	33	34	35	33	31
Licht	125	129	127	127	126	118	109
Lüftung/Ventilation	14	15	15	15	15	14	13
Bürogeräte	13	14	14	14	13	11	9
Küchen, Kantinen	14	14	15	15	15	15	15
Kraft	195	206	218	215	211	207	201
Prozeßwärme	122	126	125	122	118	114	110
Sonstige	36	38	38	40	40	41	42
Summe	1.531	1.562	1.515	1.427	1.342	1.242	1.145

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

Tab. 0.15: Endenergieverbrauch im Sektor Kleinverbrauch im Energiewende-Szenario nach Energieträgern

[PJ]	1992	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Kohle, Holz	95	67	19	10	4	2	0
Heizöl	487	476	426	347	282	224	178
Diesel	105	109	115	112	110	107	105
Flüssiggas	39	36	29	27	26	24	23
andere Gase	305	338	367	354	341	318	296
Strom	372	387	384	374	360	334	307
Fernwärme	127	149	173	202	221	232	236
Summe	1.531	1.562	1.515	1.427	1.342	1.242	1.145

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

#### 4.1.3



## Industrie

Der Industriesektor umfaßt das gesamte Verarbeitende Gewerbe und den sog. Übrigen Bergbau (Erz, Kali, Steinsalz)<sup>8</sup>. Er unterteilt sich in vier große Bereiche: Grundstoff- und Produktionsgüter, Investitionsgüter, Verbrauchsgüter sowie Nahrungs- und Genußmittel.

Ausgangspunkt zur Ermittlung des künftigen industriellen Energiebedarfs ist wie in den anderen Sektoren eine Fortschreibung der Nachfrage nach Energiedienstleistungen in der Industrie. Wegen der Vielzahl der Produkte und komplexen Produktionsverfahren ist es allerdings nicht möglich, die nachgefragten Energiedienstleistungen der Industrie im Detail zu quantifizieren. Aus Vereinfachungsgründen wird vielmehr die industrielle Wertschöpfung als Dienstleistung definiert.

Die Annahmen zum Wachstum der Wertschöpfung in den einzelnen Industriebranchen beruhen auf dem Referenz-Szenario von PROGNOSE, die **unverändert auch für das Energiewende-Szenario** übernommen wurden - danach wächst die Wertschöpfung in der deutschen Industrie um durchschnittlich rd. 2% pro Jahr an, d.h. insgesamt mehr als eine Verdopplung bis zum Jahr 2020<sup>9</sup>.

Um nun den Endenergiebedarf der Industrie zu erfassen, muß neben der Entwicklung der Wertschöpfung auch die Entwicklung der spezifischen Bedarfe nach einzelnen Energieträgern (Kohle, Strom, Fernwärme etc.) ermittelt werden. Der Endenergiebedarf wird dann durch Multiplikation von Wertschöpfung und spezifischen Energiebedarfen bestimmt.

Im Referenz-Szenario wird die Entwicklung der spezifischen Energiebedarfe in der Industrie unverändert von PROGNOSE (1995) übernommen,

Im Referenz-Szenario, d.h. der Energieprognose 2020 von PROGNOSE (1995), tritt gegenüber dem Basisjahr eine deutliche Einsparung der spezifischen Bedarfe im Bereich Brennstoffe, aber eine relativ geringe beim Strom auf - dies führt zusammen mit den Wachstumsannahmen dazu, daß der Brennstoffbedarf insgesamt bis 2020 leicht rückläufig ist, während der Strombedarf absolut um rd. 50% ansteigt (vgl. Tabelle unten).

---

<sup>8</sup> Kohlebergbau sowie die Öl- und Gaswirtschaft sowie die Herstellung von Uran-Brennelementen fallen in den Umwandlungssektor, dessen Entwicklung im Energiewende-Szenario aus Vereinfachungsgründen gleich der Referenzentwicklung angenommen wurde.

<sup>9</sup> Es sei schon hier betont, daß der industrielle Endenergiebedarf erheblich deutlicher zurückgehen würde, wenn statt der hohen Wachstumsannahmen insbesondere in der Grundstoffindustrie ein Szenario zugrundegelegt würde, wie es mit dem Stichwort "Umbau der Industriegesellschaft" bzw. "Suffizienz" zu diskutieren wäre (vgl. dazu auch das Schlußkapitel dieses Berichts).

Tab. 0.16: Endenergiebedarf (inkl. Strukturwandel) im Sektor Industrie bis 2020 (Referenz-Szenario)

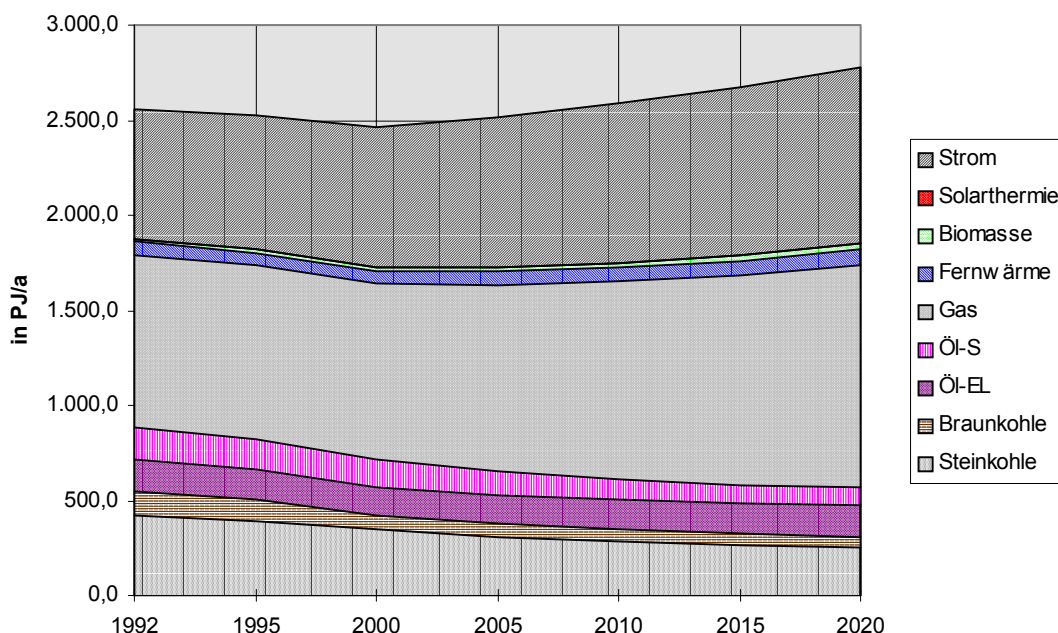
	1992	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Steinkohle	418,9	391,8	346,6	309,5	285,4	262,8	248,4
Braunkohle	131,4	109,1	71,8	68,4	65,3	63,0	61,3
Öl-EL	163,8	159,3	151,8	152,6	154,5	158,4	164,6
Öl-S	173,3	163,6	147,5	124,9	108,3	96,8	89,1
Gas	906,3	913,5	925,4	980,8	1.036,9	1.099,9	1.171,9
Fernwärme	69,1	67,3	64,3	68,1	72,1	77,2	83,4
Biomasse	15,3	16,6	18,7	22,5	26,7	31,4	36,7
Solarthermie	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Strom	681,6	700,5	731,9	785,2	838,1	879,6	922,2
<b>Insgesamt</b>	<b>2.559,7</b>	<b>2.521,6</b>	<b>2.458,0</b>	<b>2.512,0</b>	<b>2.587,3</b>	<b>2.669,1</b>	<b>2.777,6</b>

Quelle: Prognos 1995

Die im Referenz-Szenario angenommene Reduktion der **spezifischen** Bedarfe durch Energieeinsparung **und** Strukturwandel führt also nur zu einer geringen absoluten Einsparung des Brennstoffbedarfes, beim Strom werden die Einsparungen durch die wachsende Wertschöpfung sogar deutlich überkompensiert: Energieeinsparung wirkt hier nur dämpfend auf die Bedarfsentwicklung.

Die folgende Abbildung faßt die Entwicklung des Endenergiebedarfes nochmals im Überblick zusammen.

Abb. 0.3: Endenergiebedarf der deutschen Industrie im Referenz-Szenario



Quelle: Prognos 1995

Im Energiewende-Szenario wird dagegen eine **weitergehende** Ausschöpfung der Einsparpotentiale sowie eine Substitution von Energieträgern unterstellt.

### 4.1.3.1 Stromeinsparung im Energiewende-Szenario

Zur Bestimmung der im Energiewende-Szenario angenommenen weitergehenden Effizienz bei Stromanwendungen diente eine Aufteilung des industriellen Strombedarfs auf Anwendungen, für die dann spezifische Einsparpotentiale und Umsetzungsquoten ermittelt wurden. Die folgende Tabelle zeigt die Aufteilung des industriellen Strombedarfs auf die wichtigsten Anwendungen, unterteilt nach den Hauptgruppen.

Tab. 0.17: Verteilung des Strombedarfs der deutschen Industrie auf Anwendungen (1992)

Hauptgruppe Anwendung	Grundstoff- industrie	Investitions- güterind.	Verbrauchs- güterind.	Nahrungs- mittelind.	Summe Industrie
Raumwärme	0,2 %	0,7 %	0,4 %	1,1 %	0,5 %
Warmwasser	0,1 %	0,8 %	0,3 %	0,1 %	0,5 %
Prozeßwärme	23,2 %	16,8 %	21,7 %	12,7 %	19,0 %
Kraft	42,8 %	40,2 %	43,7 %	33,7 %	40,9 %
Licht	4,1 %	14,6 %	5,3 %	10,1 %	10,1 %
Kühlen	7,3 %	4,8 %	7,2 %	25,6 %	7,1 %
Lüftung/Ventil.	11,7 %	12,7 %	8,6 %	5,3 %	11,6 %
Bürogeräte	0,7 %	0,7 %	0,7 %	1,2 %	0,7 %

Quelle: nach (ÖKO/WI 1994), vereinfacht

Den größten Anteil des Strombedarfs im verarbeitenden Gewerbe macht demnach mit rund 40% die **Antriebskraft in Produktionsprozessen** aus, gefolgt von der **Prozeßwärme** mit rund 20%. Weitere wichtige Anwendungen sind **Druckluft** und **Lüftung/Ventilation** (je rund 10%), bei denen ebenfalls elektrische Motoren eingesetzt werden, sowie die **Beleuchtung** mit ebenfalls rund 10% Anteil.

Bei diesen Anwendungen bestehen erhebliche Einsparpotentiale durch effizientere Technologien, die in verschiedenen Studien ermittelt wurden. Für das Energiewende-Szenario wurde eine Grundlagenstudie verwendet (ÖKO/WI 1994), in der aus bundesdurchschnittlichen Werten anwendungsbezogene Sparpotentiale analysiert wurden.

Ausgehend hiervon wurden die im Referenz-Szenario von PROGROS (1995) angenommenen Umsetzungsquoten der Einsparpotentiale abgeschätzt und das verbleibende Potential zur Effizienzsteigerung bestimmt. Dies erfolgte auf Grundlage früherer Szenariorechnungen für Deutschland, in denen detailliert die Umsetzung von Spartechnologien in einem früheren Referenz-Szenario von PROGROS berechnet wurden (vgl. ÖKO 1992).

Weiterhin wurde auf Basis der genannten Grundlagenstudie die Mehrkosten der zusätzlichen Stromsparpotentiale ermittelt, um die Wirtschaftlichkeit der Effizienzverbesserungen abzuschätzen. Die Ergebnisse zeigt die folgende Tabelle im Überblick.

Tab. 0.18: Zusätzliche Stromsparpotentiale und Kosten für die deutsche Industrie

Anwendung	Stromsparpotential	davon umgesetzt	verbleibt	Mehrkosten Pf/kWh el
Raumwärme	40%	10%	30%	4,1
Warmwasser	17%	2%	15%	9,0
Prozeßwärme	17%	2%	15%	7,4
Kraft	30%	5%	25%	4,4
Licht	32%	5%	27%	4,5
Kühlen	35%	5%	30%	3,6
Lüftung/Ventilation	30%	5%	25%	4,5
Bürogeräte	61%	10%	51%	0,0
Druckluft	30%	5%	25%	7,4
Sonstiges	18%	5%	13%	4,4
<b>Summe/Durchschnitt</b>	<b>30%</b>	<b>5%</b>	<b>25%</b>	<b>5,0</b>

Quelle: nach (ÖKO/WI 1994), aktualisiert.

Die o.g. Effizienzpotentiale gelten für die Industrie in Westdeutschland, im Energiewende-Szenario wird die Industrie jedoch nur "gesamtdeutsch" betrachtet. Bei der Umsetzung der zusätzlichen Einsparpotentiale wird modellmäßig jedoch erst ab dem Jahr 2000 mit einer nennenswerten Quote gerechnet - ab diesem Zeitpunkt sind die Unterschiede zwischen ost- und westdeutschen Branchen weitgehend abgebaut, so daß vereinfachend mit den gleichen Sparquoten gerechnet wird<sup>10</sup>.

#### 4.1.3.2 Brennstoffeinsparungen im Energiewende-Szenario

Ergänzend zum Strombedarf wurde auch der Brennstoffbedarf aus Daten des Statistischen Bundesamts auf Anwendungen hin aufgeteilt. Den größten Anteil hat mit rund 70 % die Prozeßwärme, vor allem in der Grundstoffindustrie; zweitwichtigste Anwendung ist die Raumwärme, die im Bereich der Investitionsgüter dominiert. Wie beim Strom wurden auch für Brennstoffe die zusätzlich möglichen Effizienzsteigerungen auf Basis der Grundlagenstudie (ÖKO/WI 1994) bestimmt. Die folgende Tabelle faßt die Ergebnisse zum Einsparpotential bei Brennstoffen zusammen.

Tab. 0.19: Zusätzliche Einsparpotentiale und Kosten bei Brennstoffen in der Industrie

Anwendung	Einsparpotential	davon umgesetzt	verbleibt	Mehrkosten (Pf/kWh)
<b>Raumwärme</b>	6%	20%	40%	5,0
<b>Warmwasser</b>	25%	10%	15%	1,5
<b>Prozeßwärme</b>	30%	5%	25%	1,5
<b>Kraft</b>	10%	5%	5%	2,0
<b>Alle Anwendungen</b>	<b>40%</b>	<b>10%</b>	<b>30%</b>	<b>3,0</b>

Quelle: nach (ÖKO/WI 1994), aktualisiert

<sup>10</sup> Diese Vereinfachung ist zulässig, weil nur mit der **Mehreinsparung** gegenüber dem Referenz-Szenario gerechnet wird. Durch eine Gleichsetzung der zusätzlichen Einsparoptionen bei ost- und westdeutschen Industrieprozessen wird tendenziell die zusätzliche Einsparung unterschätzt, da die ostdeutschen Industrien im Bestand deutlich weniger effizient sind als westdeutsche.

Die in der Tabelle genannten Umsetzungsraten für das Referenz-Szenario sind Mittelwerte für die gesamte Industrie. Wie beim Strom wurde hier vereinfachend von Gesamtdeutschland ausgegangen.

#### 4.1.3.3 Zusammenfassung zur Einsparung

Ausgehend von den vorstehend genannten zusätzlichen Einsparpotentialen wurde für das Energiewende-Szenario abgeschätzt, wie **weit** und wie **schnell** sich die jeweiligen Effizienzsteigerungen in der Industrie umsetzen lassen. Hierbei wurden die typischen Investitionszyklen sowie die erst längerfristig greifenden Instrumente (Energiesteuer, Abwärmenutzungsverordnung usw.) berücksichtigt. Die folgende Tabelle zeigt die entsprechenden Annahmen für die gesamte Industrie.

Tab.0.20: Zusätzliche Einsparung in der Industrie im Energiewende-Szenario gegenüber dem Referenz-Szenario

Einsparung	1992	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Strom	0%	0%	5%	10%	15%	20%	25%
Brennstoffe	0%	0%	5%	8%	10%	13%	15%

Quelle: (ÖKO 1992) sowie eigene aktualisierte Berechnungen

Wie obige Tabelle zeigt, werden im Energiewende-Szenario bei Brennstoffen nur etwa die Hälfte der möglichen Mehreinsparungen gegenüber Referenz angenommen, während bei Strom die zusätzlichen Effizienzsteigerungen bis 2020 voll umgesetzt werden.

Dies liegt an der Strategie des Energiewende-Szenarios, vorrangig den **Ersatz** von Brennstoffen durch Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) anzunehmen, mit der eine weitergehende Einsparung in den Betrieben wenig attraktiv erscheint. Ab dem Jahr 2005 wird dann zusätzlich angenommen, daß verstärkt Solarwärme zum Einsatz kommt, die Öl und Gas bei der Niedertemperaturwärmebereitstellung ersetzt (vgl. unten). Neben der Effizienzsteigerung auf der Bedarfsseite liegen dem Energiewende-Szenario somit auch Annahmen zur Substitution von Brennstoffen zugrunde.

#### 4.1.3.4 Substitution von Energieträgern in der Industrie im Energiewende-Szenario

Im Energiewende-Szenario wird zusätzlich angenommen, daß gegenüber der Referenzentwicklung ein Ersatz von direkten Brennstoffanwendungen durch Prozeßwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) erfolgen kann. In vielen Branchen wird Prozeßwärme auf relativ niedrigem Niveau (60-120°C) benötigt, und viele Anwendungen von Prozeßwärme dienen zur Erwärmung durch Heißluft (z.B. Trocknung). Hier kann statt der direkten Verbrennung von Energieträgern in Kesseln oder Trocknern auch Abwärme aus der Stromerzeugung genutzt werden, wozu sowohl herkömmliche Dampfturbinen als auch Gasturbinen mit Abhitzekeessel oder Gasmotoren mit Heißkühlung eingesetzt werden können. Ökonomisch sind solche KWK-Anlagen der direkten Wärmeherzeugung deutlich überlegen, wenn der bereitgestellt KWK-Strom angemessen vergütet wird<sup>11</sup>.

Allerdings ist der Ersatz von direkter Prozeßwärmebereitstellung durch KWK-Anlagen durch Verfahrens- und Auslastungsprobleme begrenzt: Überwiegend lohnen sich KWK-Anlagen in der

<sup>11</sup> Im Energiewende-Szenario wird dies durch entsprechende Instrumente vorausgesetzt.

Industrie nur dann, wenn sie eine hohe Auslastung erzielen können, d.h. die Abwärme vor allem im Sommer zumindest teilweise genutzt werden kann. Weiterhin können bei Hochtemperaturanwendungen (z.B. Hochöfen, Kokereien, Zement- und Kalköfen) nur geringe KWK-Einkopplungen erfolgen - hier sind Wärmeeinsparmaßnahmen meist die kosteneffizientere Lösung.

Im Energiewende-Szenario wurden diese Restriktionen auf Basis früherer Betrachtungen (vgl. ÖKO 1992) bei der Modellierung des Zubaus von industriellen KWK-Anlagen berücksichtigt. Weiterhin wurde bei der Fortschreibung eine schon früher angemerkte Problematik bedacht (vgl. ÖKO 1990+1992):

Aufgrund des Umbaus im Kraftwerkssektor im Energiewende-Szenario ist der "KWK-Vorrang" etwa ab dem Jahr 2010 nicht mehr gültig ist - eine Kombination von Solarenergie mit getrennter Stromerzeugung ist dann ökologisch und ökonomisch günstiger als die Kraft-Wärme-Kopplung mit fossilen Energieträgern. Daher wird im Energiewende-Szenario im Gegensatz zu bisherigen, auf kürzere Zeiträume bezogenen Szenarien nunmehr auch in der Industrie der Ersatz von Brennstoffen durch Solarwärme verstärkt einbezogen. Zwar kann der im Industriebereich nachgefragte Wärmebedarf kann im Betrachtungszeitraum *bis 2010* nur marginal mit Sonnenenergie gedeckt werden. Danach ist jedoch davon auszugehen, daß verbesserte Kollektor- und Speichertechnologien zur Verfügung stehen, die im Niedertemperaturbereich einen stärkeren Solarenergieeinsatz erlauben<sup>12</sup>. Vorrangig wird Solarenergie in Betrieben eingesetzt, die auch in den Sommermonaten einen entsprechenden Wärmebedarf aufweisen (Brauereien, Molkereien etc.). Zur Beheizung von Hallen und für Trocknungszwecke dienen Luftkollektoren, die je nach Temperaturprofil der Wärmenachfrage die konventionelle Heizanlage vollständig ersetzen können.

Ausgehend von diesen Grundüberlegungen wurde im Energiewende-Szenario eine zeitliche Entwicklung der Substitution von Brennstoffen durch KWK-Wärme und Solarenergie angesetzt, die sich für die verschiedenen Brennstoffe unterschiedlich darstellt. Die folgende Tabelle zeigt diese Annahmen im Überblick.

Tab. 0.21: Substitutionsraten für Brennstoffe in der Industrie im Energiewende-Szenario

<b>KWK-Wärme:</b>	<b>1992</b>	<b>1995</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
ÖI-EL	0%	0%	3%	5%	8%	9%	10%
ÖI-S	0%	0%	5%	18%	30%	40%	50%
Gas	0%	0%	5%	10%	15%	18%	20%
Steinkohle	0%	0%	10%	18%	25%	30%	35%
Braunkohle	0%	0%	10%	43%	75%	88%	100%
<b>Solar:</b>							
ÖI-EL	0%	0%	0%	5%	10%	15%	20%
Gas	0%	0%	0%	5%	10%	15%	20%

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

Bis zum Jahr 2010 sind die o.g. Angaben weitgehend den bisherigen Energiewende-Szenarien angelehnt (vgl. ÖKO 1990+1992), danach greift zunehmend die Strategie "Effizienz plus Solarwärme".

<sup>12</sup> Dabei ist zu beachten, daß im Gegensatz zum Haushalts- und Kleinverbrauchssektor solarspezifische Restriktionen durch Dachorientierung, Verschattung oder Denkmalschutz im Bereich industrieller Bauten vergleichsweise gering sind.

Die KWK-Wärme kann vorwiegend im Bereich der Kohleanwendungen hohe Substitutionsraten erzielen, während bei Öl und Gas eher der Ersatz durch Solaranwendungen im Vordergrund steht.

**4.1.3.5 Zusammenfassung zum Endenergiebedarf der Industrie im Energiewende-Szenario**

Mit den dargestellten Annahmen zur weitergehenden Effizienzsteigerung und zum Ersatz von Brennstoffen durch KWK-Abwärme und Solarenergie ergibt sich auf Basis der Wachstumsannahmen des Referenz-Szenarios ein verändertes Bild der von der Industrie nachgefragten Endenergie, das in der folgenden Tabelle in der zeitlichen Entwicklung dargestellt wird.

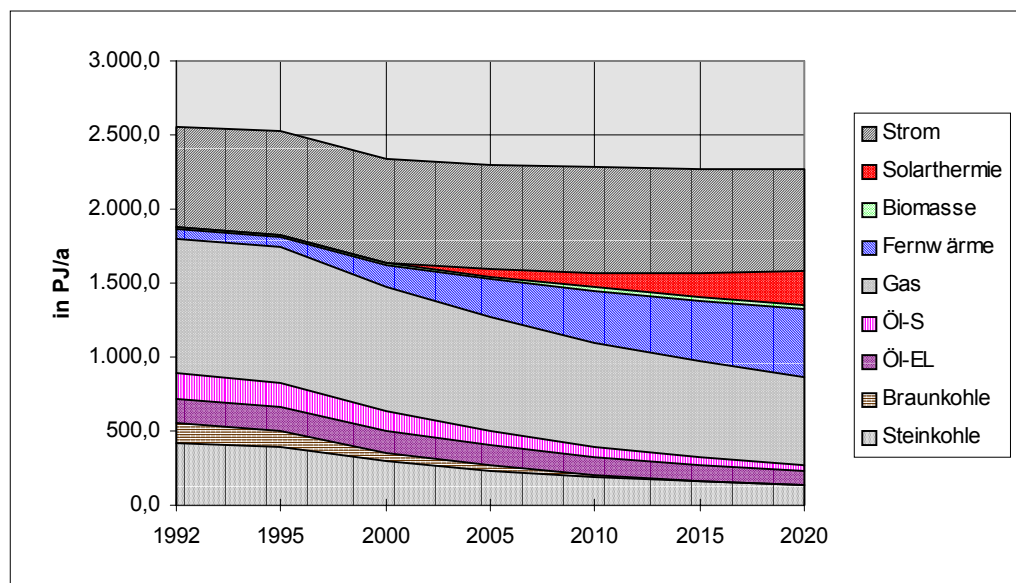
Tab. 0.22: Endenergiebedarf der Industrie bis 2020 (Energiewende-Szenario)

	1992	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Steinkohle	418,9	391,8	296,3	236,2	192,6	161,0	137,2
Braunkohle	131,4	109,1	61,4	36,4	14,7	6,9	0,0
Öl-EL	163,8	159,3	140,6	127,0	114,7	105,7	97,9
Öl-S	173,3	163,6	133,1	95,3	68,2	50,8	37,9
Gas	906,3	913,5	835,2	771,2	699,9	649,6	597,7
Fernwärme	69,1	67,3	155,4	258,0	352,8	399,2	448,0
Biomasse	15,3	16,6	17,8	20,8	24,0	27,5	31,2
Solarthermie	0,0	0,0	0,0	52,4	107,2	165,2	227,2
Strom	681,6	700,5	695,3	706,7	712,4	703,7	691,7
<b>Insgesamt</b>	<b>2.559,7</b>	<b>2.521,6</b>	<b>2.335,1</b>	<b>2.304,0</b>	<b>2.286,7</b>	<b>2.269,5</b>	<b>2.268,7</b>

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

Gegenüber dem Referenz-Szenario wird damit ein rückläufiger Endenergiebedarf erzielt, wobei vor allem das Wachstum der Stromnachfrage deutlich gebremst wird - der Strombedarf ist im Szenariozeitraum trotz hohen Wachstums der Wertschöpfung auch in energieintensiven Branchen weitgehend konstant. Demgegenüber steigen die Anteile an Wärme aus KWK sowie aus Solarenergie deutlich an, während der direkte Kohleeinsatz drastisch sinkt. Die folgende Grafik zeigt dies im Überblick.

Abb. 0.4: Endenergiebedarf der deutschen Industrie im Energiewende-Szenario



Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

## 4.2 Annahmen im Sektor Verkehr

Parallel zu den Berechnungen im Energiesektor wurden auch Abschätzungen über den zukünftigen Energieverbrauch und die Emissionen des Verkehrssektors durchgeführt. Fragestellung dieses Teils der Studie ist, ob die zukünftige Verkehrsentwicklung und der damit verbundene Energieverbrauch die Energiewende ergänzen kann oder dazu beiträgt, das Klimaschutzziel unter den Bedingungen der Energiewende in weite Ferne rücken zu lassen.

Auch das Energiewende-Szenario zum Verkehr ist in seiner Systematik an das Prognos-Gutachten angepaßt. Das heißt konkret, daß die Verkehrsleistungen im Straßenverkehr aus dem Fahrzeugbestand und den durchschnittlichen Fahrzeuleistungen errechnet werden, während der Schienenverkehr direkt aus den Verkehrsleistungen abgeleitet wird.

Folgende gegenüber der Referenzentwicklung verschärfte Maßnahmenwirkungen sind vor allem in das Energiewende-Szenario eingeflossen:

- verstärkte Verkehrsverlagerungseffekte vom motorisierten Individualverkehr (MIV) auf die CO<sub>2</sub>-günstigeren Verkehrsmittel durch eine gezielte Förderpolitik bei den öffentlichen Verkehrsmitteln und dem Radverkehr;
- forcierte Einführung verbrauchsminimierter Fahrzeuge, Schaffung unterstützender Rahmenbedingungen;
- Durchsetzung einer verkehrsvermeidenden Raumplanung;
- verstärkte Verlagerungseffekte des Straßengüterverkehrs auf die Eisenbahn.

### 4.2.1 Personenverkehr

#### 4.2.1.1 Motorisierter Individualverkehr (MIV)

Entscheidender Ansatzpunkt für eine abweichende Entwicklung der Verkehrsleistungen im Energiewende-Szenario beim motorisierten Individualverkehr (MIV) ist die weitere Entwicklung des Fahrzeugbestands und der durchschnittlichen Fahrleistungen pro Pkw.

Bei den Annahmen zum Energiewende-Szenario wird davon ausgegangen, daß die Motorisierungsquote, berechnet als Anzahl der Pkw pro 1000 Einwohner, zunächst weiter ansteigt, in den neuen Bundesländern als Folge der nachholenden Motorisierung erheblich kräftiger als in den alten Bundesländern. Hierbei spielen verschiedene Gründe eine Rolle, auf die nur langsam dämpfend eingewirkt werden kann: Neue Arbeitsplätze und verkehrserzeugende Zielorte werden derzeit im erheblichen Maße außerhalb der gut erschlossenen Achsen des öffentlichen Verkehrs entwickelt, das betrifft ebenso die Einkaufszentren auf der "grünen Wiese" wie die Ausweisung neuer Gewerbegebiete, was als Folge des Investorendrucks auf eine sich nur langsam konsolidierende Planungsbürokratie und der Unsicherheiten bei der Eigentumsklärung in den Innenstädten der neuen Bundesländer zu erklären ist.

Demzufolge wachsen die Entfernungen der Wege in den neuen Bundesländern und der "Zwang" zum Autobesitz als Reaktion auf die Durchsetzung verkehrsintensiverer Strukturen steigt an. Auch spielt der



Autobesitz als Symbol der potentiellen Zugehörigkeit zum dynamischen Bevölkerungsteil eine große Rolle (CITY:mobil 1996)<sup>13</sup>. Diesen Tendenzen ist nur langsam entgegenzuwirken.

Im Jahr 2000 wird eine Motorisierungsquote von 542 Pkw/1000 Einwohner in den alten und 480 Pkw/1000 Einwohner in den neuen Bundesländern angenommen (siehe Tab. 4.23). Dies kann als beginnende Reaktion auf spürbare Verbesserungen beim Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) verstanden werden, die den Besitz eines eigenen Autos überflüssig machen und die sich zu einem so frühen Zeitpunkt des Umlenkens vor allem bei den ca. 30 Mio. Menschen im Einzugsbereich der bestehenden Verkehrsverbände bemerkbar machen. Eine solche Entwicklung bedeutet bei weitem keine radikale Abkehr von der automobilen Gesellschaft, sondern würde die Motorisierung auf hohem Niveau, quasi mit langem Bremsweg, abbremsen.

Aus der Tatsache, daß bisherige Motorisierungsprognosen regelmäßig vorzeitig erreicht und überschritten wurden, kann jedoch ersehen werden, daß das Ziel eines baldigen Erreichens der Sättigungskurve zumindest in den alten Bundesländern große Anstrengungen bei der Förderung der alternativen Mobilitätsangebote erfordert. Die Motorisierung wird dann bis 2020 auf dem Niveau des Jahres 2000 stagnieren.

Für die neuen Bundesländer wird die Motorisierungsquote im Jahr 2000 auf 480 Pkw/1000 Einwohner ansteigen und bis 2020 auf den gemeinsamen Wert von 540 Pkw/1000 Einwohner anwachsen.

Tab. 0.23: Motorisierung mit Personenkraftwagen (Pkw/1000 Einwohner)

	1992	1995	2000	2010	2020
<b>Referenz-Szenario</b>					
Alte Bundesländer	492	510	555	600	615
Neue Bundesländer	378	440	490	600	615
<b>Ökoszenario</b>					
Alte Bundesländer			542	540	540
Neue Bundesländer			480	520	540

Quelle: Prognos, DIW, Berechnungen des Öko-Instituts

<sup>13</sup> Aufschluß über die Bedeutung des Autobesitzes geben die ausführlichen qualitativen Befragungen im Subprojekt 1 "Mobilitätsleitbilder und Verkehrsverhalten" im Rahmen des Forschungsvorhabens Stadtverträgliche Mobilität.

Neben dem Verzicht auf die Neubeschaffung von Zweit- und Drittwagen in den Haushalten wird auch davon ausgegangen, daß sich das Autoteilen als gesellschaftlich akzeptierte Form der Autonutzung in bestimmten Bevölkerungskreisen durchsetzen wird und einen mäßigenden Einfluß auf die Motorisierung ausübt. Das Potential hierfür wird in einer Studie im Auftrag des BMV auf 1,2 Mio. durch Car Sharing ersetzte Pkw angegeben, wodurch die Pkw-Fahrleistungen um 7,2 Mrd. Fahrzeug-km gemindert werden können (Baum, Pesch 1994).

Diese Entwicklung der Motorisierung bewirkt in der Konsequenz und unter Zugrundelegung der von Prognos dokumentierten Bevölkerungsentwicklung auch im Energiewende-Szenario einen leichten Anstieg des Pkw-Bestandes zwischen 2000 und 2010 und ein moderates Absinken im Jahr 2020 auf das Niveau von 2000. Gegenüber dem Referenz-Szenario von Prognos wird der Pkw-Bestand in ganz Deutschland jedoch bis zum Jahr 2020 im Energiewende-Szenario um 6,5 Mio. Pkw niedriger sein.

Bei der Zusammensetzung des Pkw-Bestandes wurde davon ausgegangen, daß die steuerliche Förderpolitik bei den Dieselfahrzeugen gegenüber heute zurückgenommen wird, was sich in einer Abschwächung der Zunahme des Anteils der Diesel-Pkw gegenüber der Prognos-Annahme auswirkt. Im Jahre 2020 werden die Diesel-Pkw im Energiewende-Szenario nur mit 19 % im Pkw-Bestand vertreten sein gegenüber 24,5 % im Referenzfall.

Demgegenüber wurde die Durchsetzung von Elektro- und Gasantrieben in den absoluten Fahrzeugzahlen unverändert aus der Referenzentwicklung übernommen. Hierin drückt sich eine gewisse Skepsis gegenüber einer aktiven Förderpolitik in Bezug auf diese Antriebe aus: Einerseits wird anerkannt, daß beide Antriebsarten zu einer lokalen Emissionsminderung bei den gesundheitsschädlichen verkehrsbedingten Schadstoffen beitragen, andererseits treten gerade die als "Stadtautos" deklarierten Fahrzeuge als direkte Konkurrenz zum Fahrradverkehr und zum ÖPNV auf, der in den dichtbesiedelten Ballungsräumen seine größten Potentiale hat.

- Zur Berechnung der Verkehrsleistungen wurde eine spezifische Fahrleistung pro Pkw angenommen, die im Energiewende-Szenario um etwa 500 Jahreskilometer pro Fahrzeug niedriger liegt als im Referenzszenario. Diese Fahrleistungsminderung repräsentiert vorwiegend den Anteil des MIV, der durch Maßnahmen der Stadt- und Regionalplanung sowie durch die Preispolitik gegenüber dem MIV vermieden und z.T. auf nichtmotorisierte Verkehrsmittel, die in dieser Untersuchung nicht dargestellt werden, verlagert wurde.

Tab. 0.24: Pkw-Bestand (in Tausend)

	1992	1995	2000	2010	2020
<b>Referenz-Szenario</b>					
<b>Alte Bundesländer</b>	32007	33369	37540	40465	41555
Vergaserkraftstoff	27550	28209	31110	31085	30450
Dieselkraftstoff	4452	5118	6375	8975	10200
Gasantrieb	4	4	45	255	405
Elektroantrieb	1	2	10	150	500
<b>Neue Bundesländer</b>	6000	6861	7750	8490	8760
Vergaserkraftstoff	5728	6194	6596	6642	6419
Dieselkraftstoff	272	667	1150	1780	2150
Gasantrieb	0	0	3	43	85
Elektroantrieb	0	0	1	25	105
<b>Energiewende-Szenario</b>					
<b>Alte Bundesländer</b>			36646	36521	36060
Vergaserkraftstoff			30361	29177	28304
Dieselkraftstoff			6230	6939	6851
Gasantrieb			45	255	405
Elektroantrieb			10	150	500
<b>Neue Bundesländer</b>			7049	7383	7599
Vergaserkraftstoff			5987	5986	5965
Dieselkraftstoff			1057	1329	1444
Gasantrieb			3	43	85
Elektroantrieb			1	25	105

Quelle: Prognos, Berechnungen des Öko-Instituts

Für die neuen Bundesländer wurde angenommen, daß sich die verkehrserzeugenden Strukturen durch eine gezielte verkehrsvermeidende Raumplanung nicht erst in dem Maße aufbauen können, wie in den alten Bundesländern, daß also die gegenwärtige auto-orientierte Strukturentwicklung zu einem früheren Zeitpunkt gestoppt werden kann als im "Weiter wie bisher"-Fall.

Aus den Annahmen zur Motorisierung und den durchschnittlichen Jahresfahrleistungen resultieren die Fahrleistungen, wie sie in Tab. 4.25 dargestellt sind.

Gegenüber dem Referenzszenario geht die MIV-Fahrleistung für das Jahr 2010 im Energiewende-Szenario um 14,5 % und im Jahr 2020 um 17 % zurück. Dies ist das Ergebnis von Verlagerungseffekten des Autoverkehrs zugunsten des öffentlichen Verkehrs, im geringeren Maße auch zugunsten der nichtmotorisierten Verkehrsmittel. Hierbei wirken sich ebenfalls verkehrsvermeidende Maßnahmen aus.

Tab. 0.25: Fahrleistungen MIV (Mrd. Fzg.-km)

	1992	2000	2010	2020
<b>Referenz-Szenario</b>				
Otto-Pkw	399	467	470	461
Diesel-Pkw	81	124	167	185
Elektro-Pkw	0	0	2	3
<b>Gesamt</b>	<b>480</b>	<b>591</b>	<b>639</b>	<b>649</b>
<b>Energiewende-Szenario</b>				
Otto-Pkw		432	421	411
Diesel-Pkw		117	124	123
Elektro-Pkw		0	1	4
<b>Gesamt</b>		<b>549</b>	<b>546</b>	<b>538</b>

Quelle: Prognos, Berechnungen des Öko-Instituts

Die spezifischen Verbräuche der Pkw wurden im Energiewende-Szenario noch einmal deutlich gegenüber dem Referenz-Szenario gesenkt: Während Prognos im Endzustand des Jahres 2020 zu spezifischen Verbräuchen im Pkw-Bestand von 6,5 l/100 km für Benzinfahrzeuge und 5,6 l/100 km für Dieselfahrzeuge gelangt, wird im Energiewende-Szenario von 4,5 l/100 km für Benzin-Pkw und 3,6 l/100 km für Diesel-Pkw ausgegangen. Dieser Berechnung liegt die Annahme zugrunde, daß bis zum Jahre 2010 der durchschnittliche spezifische Verbrauch der Neufahrzeuge stetig abnimmt und danach konstant auf niedrigem Niveau von 4 bzw. 3,6 l/100 km bestehen bleibt.

Diese Annahme erscheint realistisch vor dem Hintergrund, daß die EG-Kommission einen durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch von 5 l/100 km für Fahrzeuge mit Benzinmotor und von 4,5 l/100 km für Fahrzeuge mit Dieselmotor im Jahre 2005 für erreichbar hält (EG-Kommission 1995). Der resultierende Kraftstoffverbrauch des motorisierten Individualverkehrs ist in Tab. 4.26 zusammengefaßt.

Tab. 0.26: Kraftstoffverbrauch des motorisierten Individualverkehrs (in Mio. t)

	1992	1995	2000	2010	2020
<b>Referenz-Szenario</b>					
Otto-Pkw	29,58	29,96	32,09	27,11	21,98
Diesel-Pkw	5,42	6,41	7,95	9,25	8,61
Elektro-Pkw (Mrd. kWh)	0,00	0,01	0,03	0,53	1,82
<b>Energiewende-Szenario</b>					
Otto-Pkw			28,80	19,75	13,56
Diesel-Pkw			6,85	5,02	3,71
Elektro-Pkw (Mrd. kWh)			0,03	0,42	0,91

Quelle: Prognos, Berechnungen des Öko-Instituts

Im niedrigeren Kraftstoffverbrauch des Energiewende-Szenarios schlagen sowohl die Verbrauchsminderungen durch effizientere Fahrzeuge als auch alle Maßnahmen durch, die auf eine geringere Fahrleistungsentwicklung abzielen (Verlagerungs- und Vermeidungseffekte). Der Kraftstoffverbrauch (nur Vergaser- und Dieselfahrzeuge) wird 2010 um 32 %, im Jahre 2020 um 44 % gegenüber der Referenzentwicklung reduziert.

#### 4.2.1.2 Schienenpersonenverkehr

Die Abschätzung des **Schienenpersonenfernverkehrs** erfolgt auf der Basis der Angabe des Vorstandes der Deutschen Bundesbahn zur Sachverständigenanhörung der Enquete-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre". In dieser DB-Prognose wurde eine Verkehrsleistung von 53,1 Mrd. Pkm im Fernverkehr für möglich und von den Kapazitäten her für abwickelbar eingeschätzt (DB 1992).

Die vorgetragene Prognose wurde im Energiewende-Szenario für das Jahr 2010 übernommen und auf 2020 fortgeschrieben. Die Angaben zur erwarteten Verkehrsleistung im Jahr 2000 wurden gemäß der inzwischen verstrichenen Zeit nach unten korrigiert. Das Energiewende-Szenario weist dementsprechend im Jahr 2020 eine um 35 % höhere Verkehrsleistung im Schienenfernverkehr aus (+22 % bis 2010), wie aus Tab. 4.27 hervorgeht.

Im **Schienen Nahverkehr** wird eine Erhöhung der Verkehrsleistungen um 20 % bei den öffentlichen Schienenpersonennahverkehrssystemen (Stadtbahnen, Straßenbahnen, Schnellbahnen, U-Bahnen) und 10 % beim Schienen Nahverkehr der Deutschen Bahn AG und der nichtbundeseigenen Eisenbahnen gegenüber der Referenzstudie für möglich gehalten.

Aus den Veränderungen der Verkehrsleistungen im öffentlichen Schienenpersonenverkehr ergeben sich die in Tab. 4.28 wiedergegebenen Kraftstoff- und Stromverbräuche.

Tab. 0.27: Verkehrsleistungen öffentlicher Personenverkehr (Mrd. Pkm)

	1992	1995	2000	2010	2020
<b>Referenz-Szenario</b>					
Flugverkehr	20,33	23,90	29,84	40,56	50,99
Schienerfernverkehr	32,59	34,38	37,74	43,45	45,77
Schienennahverkehr	23,65	23,32	23,78	24,15	24,53
nichtbundeseig. Eisenbahn	1,10	1,25	1,50	1,70	1,87
ÖPNV Schiene	10,50	10,02	11,31	12,27	12,93
ÖPNV Busse	77,00		94,00	94,00	96,00
<b>Energiewende-Szenario</b>					
Flugverkehr			28,94	36,50	45,89
Schienerfernverkehr			41,00	53,10	62,00
Schienennahverkehr			26,16	26,57	26,98
nichtbundeseig. Eisenbahn			1,65	1,87	2,06
ÖPNV Schiene			13,57	14,72	15,52
ÖPNV Busse			103,00	113,00	117,00

Quelle: Prognos, Berechnungen des Öko-Instituts

#### 4.2.1.3 Übriger öffentlicher Personenverkehr

Der übrige öffentliche Personenverkehr beinhaltet im wesentlichen den Buslinien- und -schülerverkehr. Für das Energiewende-Szenario wird angenommen, daß sich die Verkehrsleistungen im öffentlichen Busverkehr um bis zu 22 % steigern. Dies wird mit der Stärkung des Busnetzes im ländlichen Raum und seine fahrgastfreundliche Integration in die flächendeckenden integralen Taktfahrpläne erreicht. Die bessere Integration des Busangebotes in das gesamte ÖPNV-Angebot hat u.a. auch zur Folge, daß sich die Fahrgastzahlen mit einer unterdurchschnittlichen Steigerung der Fahrleistungen, also mit einer besseren Auslastung der Fahrzeuge, erreichen läßt.

Der Gelegenheits- und Ausflugs-Busverkehr profitiert von den im Freizeitbereich prognostizierten Verlagerungspotentialen des innerdeutschen und innereuropäischen Flugverkehrs.

#### 4.2.1.4 Personenflugverkehr

Beim Luftverkehr lassen sich zwischen einzelnen Untersuchungen große Spannweiten bei den Angaben über die Verkehrsleistungen feststellen. Dies ist im wesentlichen darauf zurückzuführen, daß unterschiedliche Abgrenzungskriterien für die zurückgelegten Flugentfernungen vorliegen. Dies reicht von der strikten Anwendung des Territorialprinzips, nach der die Entfernungen bis zur nationalen Landesgrenze berechnet werden, über die Einbeziehung der Distanzen bis zum ersten Zwischenstopp der internationalen Flüge bis zur Aufrechnung der gesamten Liniendistanz der Flüge. In der

vorliegenden Untersuchung wurden die Abgrenzungen von Prognos übernommen und die veränderten Annahmen über die Entwicklung der Verkehrsleistungen im Energiewende-Szenario gegenübergestellt.

Im Personenflugverkehr wurde lediglich eine mäßige Reduzierung der Verkehrsleistungen formuliert. Dies hängt damit zusammen, daß im Referenzszenario bereits von einer Minderung des innerdeutschen Flugverkehrs ausgegangen wurde, der am ehesten durch die nationalen Maßnahmen beeinflusbar und verlagerbar ist. Es wurde auch nicht angenommen, daß eine strikte Beschränkung des gesamten innerdeutschen und internationalen Flugverkehrs über harte Restriktionen bei den Abflugkapazitäten politisch durchsetzbar ist, da es in diesem Falle verstärkt zu einer Fluggastverlagerung im internationalen Flugverkehr auf benachbarte Flughäfen im europäischen Ausland kommen würde und nicht zu echten Verminderungen der Verkehrsleistungen im Flugverkehr.

Im Energiewende-Szenario wurde angenommen, daß etwa die Hälfte der eingesparten Flugverkehrsleistungen auf die Bahn verlagert werden kann, die andere Hälfte durch eine gezielte Informationspolitik zu den Umweltauswirkungen vermieden wird. Genau genommen bedeutet dies, daß im Energiewende-Szenario durch die unterstellten Maßnahmen lediglich der Zuwachs der Verkehrsleistungen im Personenflugverkehr ein wenig flacher ausfällt, aber immer noch von einer Steigerung von 92 % (gegenüber + 113 % in der Referenz) zwischen 1995 und 2020 ausgegangen wird (vgl. Tab. 4.27).

Mit den Maßnahmen zur Bewußtseinsbildung wird vorwiegend auf die Steigerungsraten des Luftverkehrs im (Kurz-)Urlaubs- und Freizeitverkehr abgezielt. In verschiedenen Erhebungen wurde festgestellt, daß Menschen, die mit ihrer Alltagsmobilität im allgemeinen sehr umweltbewußt umgehen und ihre Verkehrsmittelwahl nach rationalen Kriterien treffen, gerade bei den "schönsten Wochen des Jahres" schwach werden und überdurchschnittlich für die Erholungsreisen auf Angebote mit dem Flugzeug zurückgreifen.<sup>14</sup>

Falls im untersuchten Zeitrahmen allerdings deutliche Anzeichen von Klimaveränderungen mit dramatischen Folgen für bestimmte Regionen zu verzeichnen wären, muß von sehr viel restriktiveren Folgen für den Flugverkehr ausgegangen werden, dessen Emissionen aufgrund des Emissionsortes in einer Flughöhe von 8000-10000 m inzwischen wesentlich problematischer angesehen werden, als noch vor wenigen Jahren. Hieraus leitet Schallaböck einen Anteil des Flugverkehrs an der gesamten verkehrsbedingten Klimabelastung von fast einem Viertel ab (Schallaböck 1995), dies ist ein wesentlich größerer Anteil, als aus dem reinen Energieverbrauch und den resultierenden CO<sub>2</sub>-Emissionen ersichtlich ist.

Aus den Verkehrsleistungen der einzelnen Verkehrsmittel berechnet sich der in Tab. 4.28 dargestellte Kraftstoffverbrauch im öffentlichen Verkehr.

---

<sup>14</sup> Entsprechende Erhebungen wurden z.B. unter den Mitgliedern des VCD durchgeführt. Ähnliche Hinweise scheint auch die aktuelle Verkehrsbefragung der Freiburger Bevölkerung im Rahmen des CITY:mobil-Forschungsprojektes nach ersten Auswertungen zu ergeben.

Tab. 0.28: Verbrauch öffentlicher Verkehr (Mio. t Kraftstoff)

	1992	1995	2000	2010	2020
<b>Referenz-Szenario</b>					
Flugverkehr	3,96	4,59	5,04	5,68	6,32
Schieneverkehr elektr. [TWh]	5,19		7,20	7,78	7,83
Schieneverkehr Diesel	0,62		0,44	0,31	0,23
ÖPNV Schiene [TWh]	2,55		2,69	2,70	2,60
ÖPNV Busse	1,31	1,31	1,37	1,33	1,35
<b>Energiewende-Szenario</b>					
Flugverkehr			4,89	5,11	5,69
Schieneverkehr elektr. [TWh]			8,07	9,41	10,18
Schieneverkehr Diesel			0,52	0,37	0,27
ÖPNV Schiene [TWh]			3,23	3,24	3,12
ÖPNV Busse			1,39	1,39	1,43

Quelle: Prognos, Berechnungen des Öko-Instituts

#### 4.2.2 Güterverkehr

Für den Güterverkehr wurde im Energiewende-Szenario angenommen, daß Verlagerungen vom Straßengüterverkehr auf die Eisenbahn und zu einem späteren Zeitpunkt auch auf das Binnenschiff erreichbar sind. Die Transportleistungen, die in Tab. 4.29 für den Güterverkehr zusammengefaßt sind, entwickeln sich im Energiewende-Szenario ähnlich wie in der Referenzentwicklung. Lediglich ein Anteil von etwa 4 % wird eingespart, was als Folge der stärkeren Betonung der regionalen Märkte anzusehen ist.

##### 4.2.2.1 Schienengüterverkehr

Bei den Abschätzungen zu möglichen Transportleistungssteigerungen im Schienengüterverkehr wurden wiederum die Angaben der Deutschen Bundesbahn im Rahmen der Enquete-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre" herangezogen. Von der Bahn wird für das Jahr 2010 eine Steigerung des Schienengüterverkehrs auf 134,3 Mrd. tkm für realistisch und kapazitätsmäßig möglich gehalten (DB 1992). Hieraus wurde eine weitere Steigerung bis zum Jahr 2020 auf eine Transportleistung von 180 Mrd. tkm abgeschätzt. Damit würde die Bahn im Jahre 2010 einen Anteil von 23 % und 2020 von 24 % der erwarteten Verkehrsleistungen im deutschen Güterverkehr transportieren, 1992 waren es knapp 21 % (siehe Tab. 4.29). Das bedeutet, daß die Bahn ihren Anteil am Güterverkehr stabilisieren kann und der erwartete Zuwachs im Güterverkehr von insgesamt 119 % zwischen 1992 und 2020 proportional von der Bahn zusätzlich abgewickelt werden wird.



#### 4.2.2.2 Straßengüterverkehr

Der Straßengüterverkehr wird auch im Energiewende-Szenario den Hauptteil der Transportleistungen zu übernehmen haben, auch wenn der erwartete Anstieg nicht so massiv ausfällt, wie im Referenzfall angenommen. So wird die Verkehrsleistung zwischen 1992 und 2020 anstelle eines Zuwachses von 122 % "nur" um 85 % ansteigen.

Im Energiewende-Szenario wird davon ausgegangen, daß sich die Auslastung der Fahrzeuge durch eine bessere überbetriebliche Koordination der Frachten und die vermehrte Auslieferung über Güterverkehrszentren noch etwas anheben läßt.

Tab. 0.29: Transportleistungen Güterverkehr (Mrd. tkm)

	1992	2000	2010	2020
<b>Referenz-Szenario</b>				
Straßengüter	222	290	387	492
Schienengüter	73	91	120	143
Luftfracht	0,4	0,5	0,7	0,8
Binnenschiff	57	71	102	136
<b>Gesamt</b>		<b>453</b>	<b>610</b>	<b>771</b>
<b>Energiewende-Szenario</b>				
Straßengüter		282	350	411
Schienengüter		100	134	180
Luftfracht		0,5	0,7	0,8
Binnenschiff		71	102	149
<b>Gesamt</b>		<b>453</b>	<b>588</b>	<b>741</b>

Quelle: Prognos, Berechnungen des Öko-Instituts

#### 4.2.2.3 Übriger Güterverkehr

Zum übrigen Güterverkehr zählt die Binnenschifffahrt und der Frachtflugverkehr.

Der über den Luftverkehr abgewickelte Güteranteil hat nur eine geringe Transportbedeutung. Die Zahl der reinen Frachtmaschinen ist begrenzt, die über den Personenflugverkehr zur Verfügung stehende Frachtkapazität ebenfalls limitiert.

Im Energiewende-Szenario wurde das Luftfrachtaufkommen unverändert aus dem Referenz-Szenario übernommen, da mit dem Energiewende-Szenario keine Reglementierung von Konsumgewohnheiten vorgegeben wird, so sinnvoll die Diskussion darüber in diesem Zusammenhang auch sein mag. So wird im Szenario nicht in Frage gestellt, ob es z.B. ökologisch vertretbar ist, daß wir uns via

Flugverkehr das ganze Jahr über mit frischen Erdbeeren versorgen lassen oder ob Schnittblumen aus der Sahararegion wünschenswert sind.

Auch die Transportleistungen der Binnenschifffahrt sind für die Jahre 2000 und 2010 unverändert übernommen worden, lediglich für das Zieljahr 2020 wird mit 10 % höheren Transportleistungen aufgrund von zusätzlichen Verlagerungseffekten gerechnet.

#### 4.2.3 Zusammenfassung Verkehrssektor

In der Zusammenfassung aller Verkehrsmittel und Verkehrsarten ist festzustellen, daß die Verkehrsleistungen sowohl im Referenzfall als auch im Energiewende-Szenario massiv anwachsen (siehe Tab. 4.31). Im Energiewende-Szenario ist dieser Anstieg allerdings etwas gleichmäßiger auf die einzelnen Verkehrsmittel verteilt, das Übergewicht des Straßenverkehrs kann gegenüber den anderen Verkehrsträgern durch eine Verlagerung gemindert werden.

Eingerechnete Verkehrsvermeidungseffekte in der Größenordnung von 10 % beim Personenverkehr und 4 % im Güterverkehr führen im Energiewende-Szenario zu einem abgefederten Anstieg der Verkehrsleistungen. Diese Verkehrsvermeidung wird im wesentlichen durch die Verkürzung von Reise- und Transportdistanzen erzielt. Eine Minderung der Mobilität, d.h. der Anzahl der zurückgelegten Wege in einer bestimmten Zeit, ist nicht Gegenstand der hier unterstellten Maßnahmen und wird im Sinne der Erhaltung sozialer Partizipationschancen in der Gesellschaft auch nicht befürwortet.

Aus der Zusammenfassung des Endenergieverbrauchs im gesamten Verkehrssektor ist ersichtlich, daß die Zuwächse oder Minderungen der Verbräuche bei den einzelnen Verkehrsmitteln im Energiewende-Szenario gegenüber dem Referenzfall verstärkt werden (siehe Tab. 4.32).

Trotz stark steigender Verkehrsleistungen sinkt der Energieverbrauch im Straßenverkehr, was auf die verbesserte Energieeffizienz bei den einzelnen Fahrzeugen zurückzuführen ist. Im Energiewende-Szenario wurden vor allem die Vorgaben und begleitenden Rahmenbedingungen für die Fahrzeugentwicklung beim motorisierten Individualverkehr verschärft, was sich in weiteren Effizienzsteigerungen und deutlichen Verbrauchsminderungen bemerkbar macht.

Bei den Verkehrsmitteln, die als Verlagerungsgewinner Verkehrsleistungen vom Straßenverkehr aufnehmen, sind stärkere Zuwächse beim Endenergieverbrauch gegenüber der Referenzentwicklung zu verzeichnen.

Tab. 0.30: Zusammenfassung Verkehrsleistungen (Mrd. Pkm bzw. tkm)

	1992	2000	2010	2020
<b>Referenz-Szenario</b>				
<b>Personenverkehr:</b>				
MIV	731	813	929	964
Schienerfernverkehr	33	38	43	46
Schienennahverkehr	25	25	26	26
ÖPNV Schiene	11	11	12	13
ÖPNV Busse	77	94	94	96
Flugverkehr	20	30	41	51
<b>Personenverkehr gesamt</b>	<b>896</b>	<b>1011</b>	<b>1145</b>	<b>1196</b>
<b>Güterverkehr:</b>				
Straßengüterverkehr	222	290	387	492
Schienengüterverkehr	73	91	120	143
Luftfracht und -post	0	1	1	1
Binnenschifffahrt	57	71	102	136
<b>Güterverkehr gesamt</b>	<b>353</b>	<b>453</b>	<b>610</b>	<b>771</b>
<b>Energiewende-Szenario</b>				
<b>Personenverkehr</b>				
MIV		767	813	801
Schienerfernverkehr		41	53	62
Schienennahverkehr		28	28	29
OPNV Schiene		14	15	16
ÖPNV Busse		103	113	117
Flugverkehr		29	37	46
<b>Personenverkehr gesamt</b>		<b>982</b>	<b>1059</b>	<b>1071</b>
<b>Güterverkehr:</b>				
Straßengüterverkehr		282	350	411
Schienengüterverkehr		100	134	180
Luftfracht und -post		1	1	1
Binnenschifffahrt		71	102	149
<b>Güterverkehr gesamt</b>		<b>453</b>	<b>588</b>	<b>741</b>

Quelle: Prognos, Berechnungen des Öko-Instituts

## Endenergiebedarf

Nachdem im Kapitel 4.1 die Möglichkeiten der Energieeinsparung und der Energieträgersubstitution in den einzelnen Verbrauchssektoren (Haushalte, Kleinverbrauch, Industrie) zusammengestellt und in Kapitel 4.2 mögliche Veränderungen im Verkehrsbereich untersucht wurden, ist es nun möglich, die Ergebnisse der einzelnen Kapitel zum Endenergieverbrauch im Energiewende-Szenario zusammenzufassen.

Zuvor soll noch einmal kurz auf den Endenergieverbrauch im Referenz-Szenario zurückgeblickt werden (Tab. 4.33, vgl. auch Kapitel 2): Dort ergab sich bis zum Jahr 2000 ein weiterer Anstieg der Energienachfrage um 6 % gegenüber dem Basisjahr 1992, nach der Jahrtausendwende wäre mit einem weitgehend konstanten Endenergieverbrauch zu rechnen. Von Bedeutung ist dabei der weitere Anstieg des Stromverbrauchs bis zum Jahr 2020 um fast ein Drittel gegenüber 1992 und der bis zum Ende des Betrachtungszeitraums nur marginale Anteil erneuerbarer Energieträger.

Tab. 0.31: Struktur des Endenergieverbrauchs im Referenz-Szenario

in PJ	1992	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Braunkohle	337	248	122	96	80	75	72
Steinkohle	475	439	377	334	307	279	263
Schweröl	379	387	401	393	392	395	403
leichtes Heizöl	3.870	4.022	4.275	4.220	4.111	3.966	3.826
Gase	1.964	2.068	2.243	2.340	2.409	2.477	2.545
Biomasse	53	69	78	68	64	68	71
Solar	0	0	0	0	0	0	0
Fernwärme	356	360	367	371	375	380	390
Strom	1.550	1.601	1.688	1.774	1.863	1.931	2.000
<b>Summe</b>	<b>8.983</b>	<b>9.195</b>	<b>9.550</b>	<b>9.597</b>	<b>9.600</b>	<b>9.571</b>	<b>9.568</b>
Anteile in %	1992	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Braunkohle	3,7%	2,7%	1,3%	1,0%	0,8%	0,8%	0,7%
Steinkohle	5,3%	4,8%	3,9%	3,5%	3,2%	2,9%	2,7%
Schweröl	4,2%	4,2%	4,2%	4,1%	4,1%	4,1%	4,2%
leichtes Heizöl	43,1%	43,7%	44,8%	44,0%	42,8%	41,4%	40,0%
Gase	21,9%	22,5%	23,5%	24,4%	25,1%	25,9%	26,6%
Biomasse	0,6%	0,8%	0,8%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%
Solar	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Fernwärme	4,0%	3,9%	3,8%	3,9%	3,9%	4,0%	4,1%
Strom	17,2%	17,4%	17,7%	18,5%	19,4%	20,2%	20,9%
<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>

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

Tab. 4.34 stellt dem das Ergebnis des Energiewende-Szenarios gegenüber. Hier sinkt der Endenergieverbrauch bis zum Jahr 2005 bereits um knapp 8 % unter den Wert des Jahres 1992. Bis zum Jahr 2020 ist eine Nachfragereduktion um 25 % erreichbar. Da im Referenz-Szenario ein leichter Anstieg des Endenergieverbrauchs zu verzeichnen ist, liegt im Jahr 2020 die Nachfrage im Energiewende-Szenario um fast ein Drittel unter der Referenzentwicklung. Entsprechend der unterschiedlichen Höhe der wirtschaftlichen Einsparpotentiale in den einzelnen Sektoren fällt auch deren Beitrag zur Gesamteinsparung unterschiedlich aus: Die größten Einsparungen sind bei den privaten Haushalten zu erwarten. Dort geht der Verbrauch um fast 50 % gegenüber dem Basisjahr zurück. Trotz des unterstellten starken Wachstums im Dienstleistungssektor kann der Endenergieverbrauch im Bereich der Kleinverbraucher um fast ein Viertel gesenkt werden. Moderater sind die erzielbaren Einsparungen bei der Industrie (minus 11 %) und im Verkehrsbereich (minus 17 %).

Tab. 0.32: Endenergieverbrauch im Energiewende-Szenario

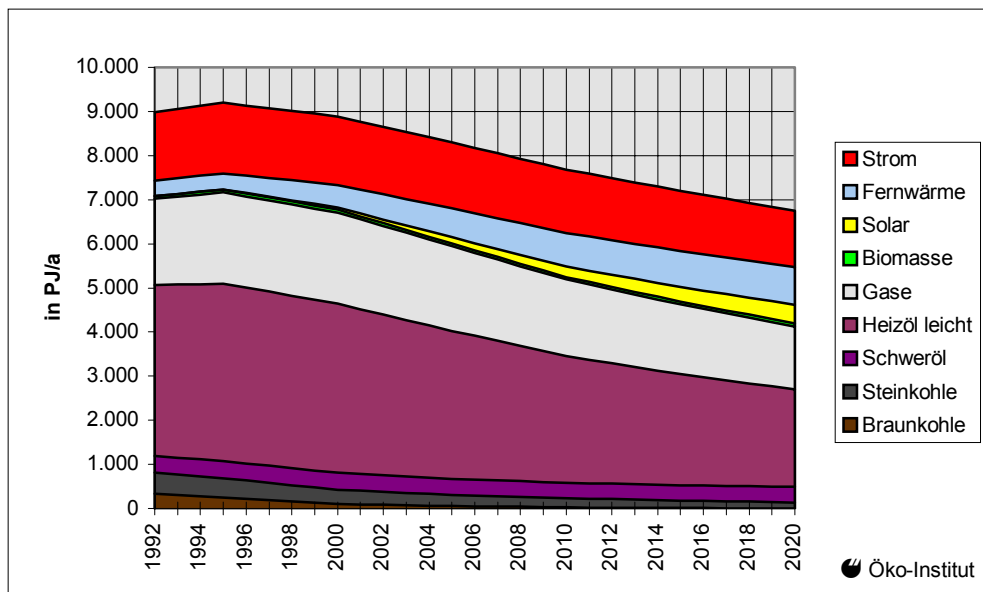
in PJ	1992	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Haushalte	2.388	2.433	2.291	2.029	1.750	1.496	1.247
Kleinverbrauch	1.514	1.551	1.515	1.427	1.342	1.242	1.145
Industrie	2.560	2.522	2.335	2.304	2.287	2.269	2.269
Verkehr	2.522	2.689	2.748	2.540	2.304	2.190	2.091
Summe	8.983	9.195	8.889	8.300	7.684	7.197	6.751

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

Im Bereich des Verkehrs ist jedoch der Vergleich zu dem starken Wachstum in der Referenzentwicklung zu beachten. Dort ist der Verkehr der Sektor mit der höchsten Zuwachsrate (plus 15 % bis zum Jahr 2020). Gegenüber dieser Entwicklung kann im Energiewende-Szenario mehr als ein Viertel des Energieverbrauchs eingespart werden.

In Abb. 4.5 sind die Anteile der einzelnen Energieträger am Endenergieverbrauch des Energiewende-Szenarios dargestellt. Im Vergleich zu Abb. 2.1 (Seite 5) zeigt sich eine erhebliche Verschiebung, die in Tab. 4.35 nochmals verdeutlicht wird:

Abb. 0.5: Endenergieverbrauch im Energiewende-Szenario



Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

Der Anteil der Fernwärme kann im Energiewende-Szenario deutlich ausgebaut werden. Zurückgedrängt werden alle fossilen Energieträger. Während die thermische Solarenergienutzung im Referenz-Szenario kaum eine Rolle spielt, wird sie im Energiewende-Szenario bis zum Jahr 2020 auf einen Anteil von über 6 % des Endenergiebedarfs ausgebaut. Während der Strombedarf in der Referenzentwicklung bis zum Ende des Betrachtungszeitraums um fast 30 % ansteigt, kann im Energiewende-Szenario eine Reduktion um über 17 % gegenüber 1992 erreicht werden.

Tab. 0.33: Struktur des Endenergieverbrauchs im Energiewende-Szenario

in PJ	1992	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Braunkohle	337	248	102	56	24	11	0
Steinkohle	475	439	320	254	208	168	137
Schweröl	379	387	387	363	352	349	351
leichtes Heizöl	3.870	4.022	3.834	3.354	2.867	2.518	2.207
Gase	1.964	2.068	2.065	1.917	1.742	1.580	1.426
Biomasse	53	69	70	59	54	64	75
Solar	0	0	40	145	237	334	420
Fernwärme	356	360	517	656	765	814	854
Strom	1.550	1.601	1.553	1.496	1.436	1.360	1.280
Summe	8.983	9.195	8.889	8.300	7.684	7.197	6.751
Anteile in %	1992	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Braunkohle	3,7%	2,7%	1,2%	0,7%	0,3%	0,1%	0,0%
Steinkohle	5,3%	4,8%	3,6%	3,1%	2,7%	2,3%	2,0%
Schweröl	4,2%	4,2%	4,3%	4,4%	4,6%	4,8%	5,2%
leichtes Heizöl	43,1%	43,7%	43,1%	40,4%	37,3%	35,0%	32,7%
Gase	21,9%	22,5%	23,2%	23,1%	22,7%	21,9%	21,1%
Biomasse	0,6%	0,8%	0,8%	0,7%	0,7%	0,9%	1,1%
Solar	0,0%	0,0%	0,5%	1,7%	3,1%	4,6%	6,2%
Fernwärme	4,0%	3,9%	5,8%	7,9%	10,0%	11,3%	12,6%
Strom	17,2%	17,4%	17,5%	18,0%	18,7%	18,9%	19,0%
Summe	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

## 5 Die Angebotsseite des Energiewende-Szenarios

### 5.1 Der Kraftwerkspark

Wie im vorigen Kapitel dargestellt, entwickelt sich die Stromnachfrage im Referenz- und Energiewende-Szenario recht unterschiedlich. Durch den Atomausstieg gilt dies in noch höherem Maße für die Art und Weise, wie der nachgefragte Strom erzeugt wird.

#### 5.1.1 Der Kraftwerkspark im Referenz-Szenario

Im Referenz-Szenario wird, entsprechend (Prognos 1995), die heutige Struktur des Kraftwerksparks durch Ersatzinvestitionen in Braun- und Steinkohle-Kraftwerke sowie Atomkraftwerke weitgehend beibehalten (vgl. Tab. 5.1 unten). Bei Erdgas erfolgt ein Zubau von modernen Kombikraftwerken, auch die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) und die Regenerativen (sowie Müll !) steigen an - wenngleich absolut betrachtet nur in geringem Maß.

Tab. 0.1: Entwicklung der Kraftwerksleistung im Referenz-Szenario (in MW<sub>el</sub>)

	1995	2000	2005	2010	2015	2020
AKW	22512	22400	22400	22400	22400	22400
Braunkohle	24000	20700	21700	21850	22150	22150
Steinkohle	35000	35000	36400	37000	37900	38800
Gase	21100	24975	25700	26500	27450	28750
Öl	9800	9000	7500	6800	6300	6000
Müll	900	1225	2000	2700	3250	3750
KWK	5528	6066	6612	7161	7608	8019
Regenerative	9802	12123	13133	14051	14693	15206
<b>Summe</b>	<b>128642</b>	<b>131490</b>	<b>135445</b>	<b>138461</b>	<b>141752</b>	<b>145075</b>

Quelle: Prognos 1995

Mit diesem Kraftwerkspark wird der im Referenz-Szenario steigende Strombedarf ebenfalls in "heutiger" Weise gedeckt, d.h. Atomkraftwerke, Braunkohle und Wasserkraft erzeugen im Grundlastbereich, während die anderen Energieträger zur Mittel- und Spitzenlastdeckung eingesetzt werden. Die Entwicklung der Stromerzeugung im Referenz-Szenario zeigt die nachfolgende Tabelle.

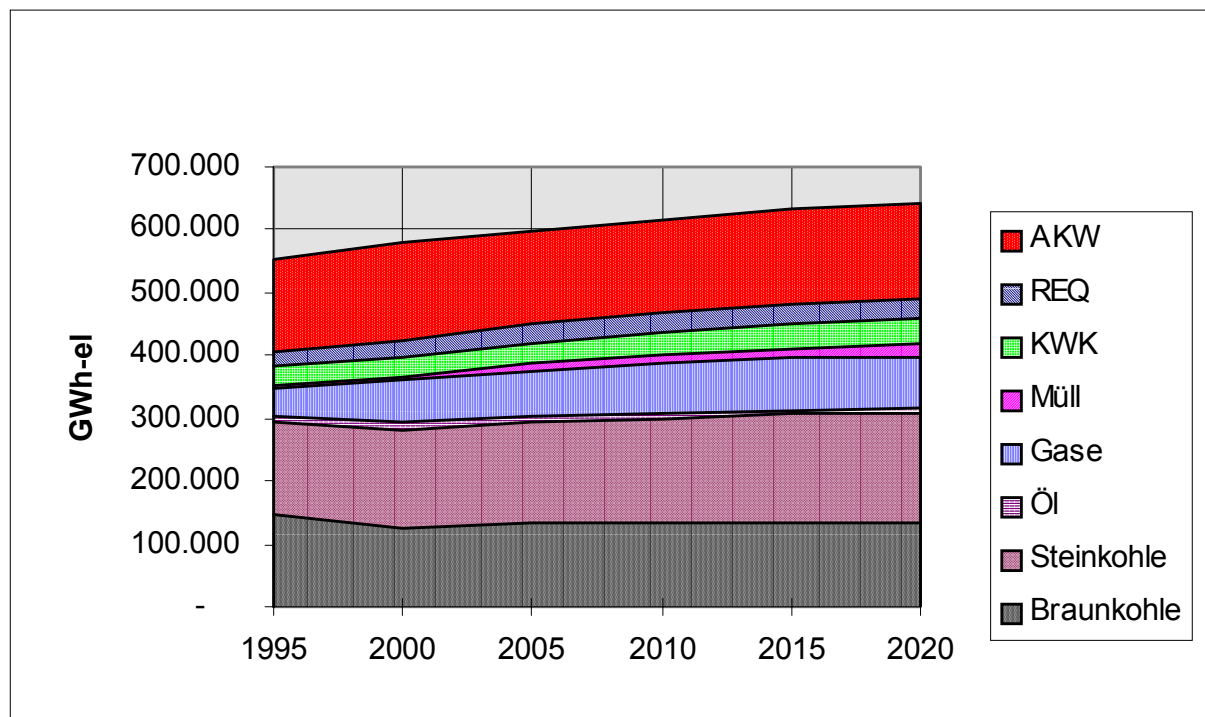
Tab. 0.2: Entwicklung der Stromerzeugung im Referenz-Szenario (in GWh<sub>el</sub>)

	1995	2000	2005	2010	2015	2020
AKW	150.000	155.200	148.400	148.400	148.400	148.400
Braunkohle	148.500	126.374	132.479	133.504	135.226	132.900
Steinkohle	144.200	156.205	162.817	167.203	170.550	174.600
Gase	46.900	68.390	72.200	77.940	82.050	83.575
Öl	9.310	10.200	8.600	7.800	7.300	7.100
Müll	5.100	6.510	10.500	14.160	16.250	19.725
KWK	27.641	30.331	33.062	35.803	38.042	40.094
Regenerative	23.370	27.039	29.574	31.904	33.215	34.527
<b>Summe</b>	<b>555.020</b>	<b>580.249</b>	<b>597.632</b>	<b>616.713</b>	<b>631.033</b>	<b>640.921</b>

Quelle: Prognos 1995

Die folgende Abbildung zeigt diese Entwicklung nochmals in grafischer Form.

Abb. 0.1: Entwicklung der Stromerzeugung im Referenz-Szenario



Quelle: Prognos 1995

Wie in der Grafik ersichtlich, wird der steigende Strombedarf im Referenz-Szenario vor allem durch mehr Gas und, in geringem Umfang, mehr Kraft-Wärme-Kopplung, Regenerative und mehr (Import-) Steinkohle bereitgestellt. Die folgenden Tabellen zeigen, wie sich bei den regenerativen Energiequellen (REQ) die Leistung und Stromerzeugung im Referenz-Szenario entwickeln.



Tab. 0.3: Entwicklung der REQ-Kraftwerksleistung im Referenz-Szenario (in MW<sub>el</sub>)

	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Biomasse	-	33	77	130	194	269
Wasser	8.887	10.230	10.436	10.641	10.759	10.837
Wind	900	1.800	2.500	3.100	3.500	3.800
Solar-PV	15	60	120	180	240	300

Quelle: Prognos 1995

Tab. 0.4: Entwicklung der REQ-Stromerzeugung im Referenz-Szenario (in GWh<sub>el</sub>)

	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Biomasse	-	167	384	650	972	1.346
Wasser	21.465	23.026	23.814	24.564	25.003	25.281
Wind	1.890	3.780	5.250	6.510	7.000	7.600
Solar-PV	15	66	126	180	240	300

Quelle: Prognos 1995

Im Referenz-Szenario wird somit vor allem Wasser und Wind leicht ausgebaut, während die Sonnenenergie über Photovoltaik (PV) bei der Stromerzeugung praktisch keine Rolle spielen wird. Die Regenerativen tragen im Referenz-Szenario im Jahr 2020 mit 10% zur Gesamtleistung und mit 5% zur Gesamterzeugung bei (jeweils ohne Müllverbrennung) - gegenüber den Anteilen im Jahr 1995 von 8% (Leistung) bzw. 4% (Erzeugung) eine wirklich nur marginale Steigerung.

### 5.1.2 Der Kraftwerkspark im Energiewende-Szenario

Im Energiewende-Szenario wird im Jahr 1996 die Abschaltung aller Atomkraftwerke vorgesehen (vgl. dazu näher Kapitel 3), womit sich sowohl der Kraftwerkspark als auch die Struktur der Stromerzeugung drastisch ändern.

Tab. 0.5: Entwicklung der Kraftwerksleistung im Energiewende-Szenario (in MW<sub>el</sub>)

	1995	2000	2005	2010	2015	2020
AKW	22.512	-	-	-	-	-
Braunkohle	24.000	21.000	12.600	4.000	4.000	4.000
Steinkohle	35.000	30.000	25.000	20.000	5.000	5.000
Öl	9.800	9.000	5.000	-	-	-
Gase	21.100	25.275	27.500	28.300	23.250	17.750
Müll	900	-	-	-	-	-
KWK	5.528	12.364	28.145	31.837	32.314	32.738
REQ	9.802	14.429	25.738	35.336	45.732	56.198
<b>Summe</b>	<b>128.642</b>	<b>112.068</b>	<b>123.983</b>	<b>119.473</b>	<b>110.296</b>	<b>115.686</b>

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

Neben dem Sofortausstieg aus den Atomkraftwerken wird auf Strom aus Müllverbrennung verzichtet. Weiterhin werden im Energiewende-Szenario auch die Braunkohlekraftwerke stetig vom Netz genommen (Ausnahme: die mit hohen Investitionen sanierten Anlagen mit zusammen 4 GW), so daß

im Jahr 2020 nur noch 1/6 der heutigen Leistung genutzt wird. Die Braunkohle wird dafür in die zuwachsenden industriellen und öffentlichen Heizkraftwerke umgeleitet (vgl. näher Kap. 5.2).

Weiterhin werden im Energiewende-Szenario die ab 1996 aus Altersgründen abgängigen Steinkohlekraftwerke nicht mehr ersetzt, so daß bis zum Jahr 2020 ein Rest von 5 GW<sub>el</sub> verbleibt, der allerdings nur noch mit wenigen Jahresstunden betrieben wird. Ebenfalls abgänglich sind über den Szenariozeitraum Ölkraftwerke, die nach 2000 überwiegend zur Spitzenlastdeckung und Reservevorhaltung sowie zur Regelung eingesetzt werden und bis zum Jahr 2010 vollständig stillgelegt werden. Die Leistung der herkömmlichen Gaskraftwerke wird bis zum Jahr 2020 komplett durch neue hocheffiziente Erdgas-Kombikraftwerke (GuD-Schaltung) ersetzt, von denen dann rd. 18 GW für Regelaufgaben sowie Spitzenlastdeckung zur Verfügung stehen.

Gewinner des Umbaus im Kraftwerkssektor sind die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) sowie die regenerativen Energiequellen (REQ), die bis 2020 auf rund 33 GW<sub>el</sub> (KWK) bzw. 56 GW<sub>el</sub> (REQ) ausgebaut werden. Neben der Kraftwerksleistung ist die Energiewende vor allem beim geänderten Erzeugungsmix spürbar, wie die folgende Tabelle zeigt.

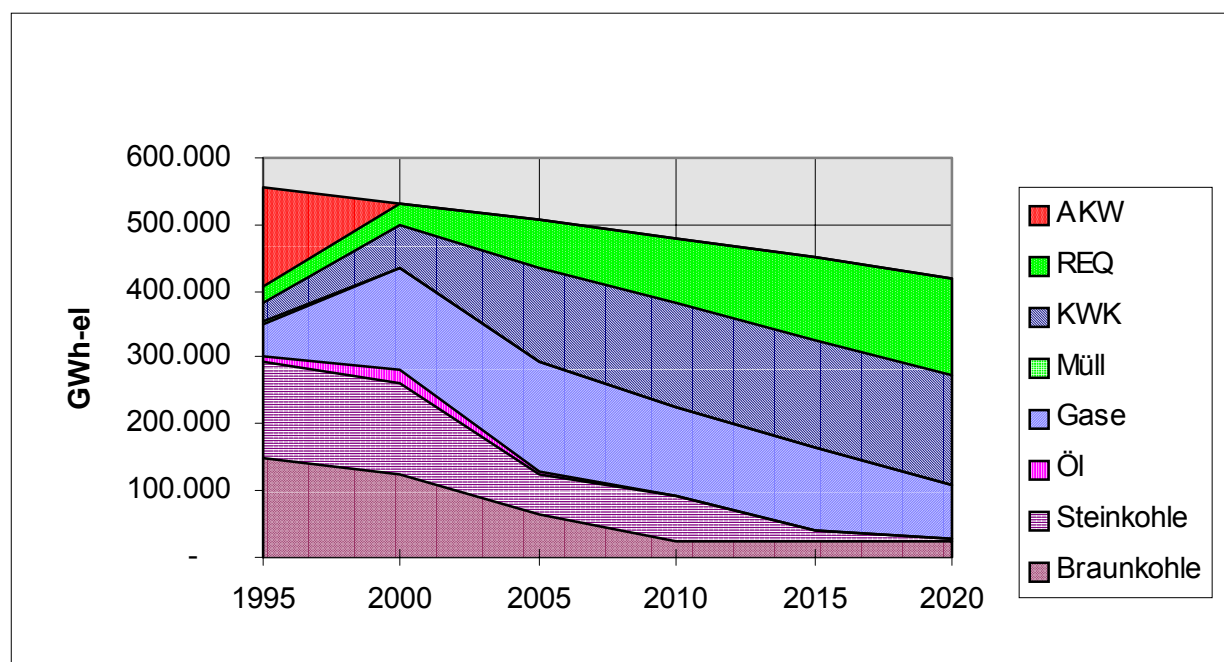
Tab. 0.6: Die Stromerzeugung im Energiewende-Szenario (in GWh<sub>el</sub>)

	1995	2000	2005	2010	2015	2020
AKW	150.000	-	-	-	-	-
Braunkohle	148.500	126.000	63.000	24.000	24.000	24.000
Steinkohle	144.200	135.000	62.500	70.000	16.250	5.000
Öl	9.310	22.500	2.500	-	-	-
Gase	46.900	153.126	167.733	129.885	125.926	79.670
Müll	5.100	-	-	-	-	-
KWK	27.641	61.818	140.725	159.184	161.569	163.692
REQ	23.370	34.267	70.395	97.647	122.043	146.073
<b>Summe</b>	<b>555.020</b>	<b>532.711</b>	<b>506.853</b>	<b>480.717</b>	<b>449.788</b>	<b>418.435</b>

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

Die ausfallende Stromerzeugung aus Atomkraftwerken wird in den ersten Jahren durch forcierten Einsatz vor allem der vorhandenen Gas- und Ölkraftwerke, teilweise aber auch kohlebefeuerter Anlagen kompensiert. Die zuwachsenden Heizkraftwerke übernehmen ab 2000 zusammen mit Wasser und Braunkohle immer stärker die Grundlast-Erzeugung. Dies zeigt die folgende Abbildung in der grafischen Übersicht.

Abb. 0.2: Die Entwicklung der Stromerzeugung im Energiewende-Szenario



Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

Deutlich sichtbar ist ab 1997 der Anstieg des Erdgaseinsatzes bei der Stromerzeugung sowie die nach 2000 ansteigenden Erzeugungsanteile der Kraft-Wärme-Kopplung und Regenerativen (vgl. dazu weiter unten). Die Nur-Stromerzeugung aus Steinkohle geht bis zum Jahr 2020 auf knapp 3% des Ursprungswertes zurück, die Erzeugung von Kondensationsstrom aus Braunkohle geht im gleichen Zeitraum um rd. 85% zurück.

## 5.2 Kraft-Wärme-Kopplung im Energiewende-Szenario

Ein wesentlicher Bestandteil der Effizienzstrategie auf der Angebotsseite des Energiewende-Szenarios ist die Kraft-Wärme-Kopplung, die ein weites Einsatzspektrum bezüglich Technologien, Brennstoffen sowie Art und Größe der Systeme aufweist.

Während bei der Verstromung von Brennstoffen in reinen Kondensations-Kraftwerken das Ziel in einer maximalen Umsetzung der Brennstoffenergie zu Strom liegt, beruht die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) darauf, für die Stromerzeugung nicht nutzbare Abwärme mit höheren Temperaturen aus dem Stromerzeugungsprozeß auszukoppeln und so für *Heizzwecke* zur Verfügung zu stellen. Hierbei muß bei Dampfkraftwerken auf einen kleinen Teil der Stromerzeugung verzichtet werden, dafür kann aber die gewonnene Abwärme wegen der höheren Temperatur (70-130 °C) nun zu Wärmeverbrauchern transportiert und dort zum Heizen genutzt werden<sup>15</sup>. Der Gesamtwirkungsgrad der Kraft-Wärme-Kopplung liegt bei 85-90 % (Strom *und* Wärme).

<sup>15</sup> Bei Gasmotoren und Gasturbinen kann dagegen Abwärme *ohne* Stromeinbuße genutzt werden.

## Kraft-Wärme-Kopplung - Mehr als Wärme

Ergänzend zur Nutzung der Abwärme von Kraftwerken zur Heiz- oder Prozeßwärmebereitstellung kann auch *Kälte* durch Wärmeauskopplung bereitgestellt werden, womit sich das breite Anwendungsfeld der *Kühlung bzw. Klimatisierung* erschließt. Hierzu dienen Absorptions-Kälte-Maschinen (AKM), die bei Temperaturen von 100-180°C je kW Abwärme rd. 0,67 kW Kälteleistung bereitstellen. Damit lassen sich 0,2-0,25 kW Leistung ersetzen, die sonst für ein elektrisch betriebenes Kälteaggregat erforderlich wären. Ein KWK-System mit "Kältekopplung" stellt daher zusätzlich zur jedem direkt verfügbaren kW elektrischer Leistung parallel weitere 0,35 kW an "NegaWatt" bereit, die sich aus dem Ersatz eines elektrischen Kälteaggregats durch die abwärmebeheizte AKM ergeben.

Für diese NegaWatt ist kein zusätzlicher Brennstoffaufwand im Kraft-Kälte-System erforderlich. Als ökologisch wichtiger Nebeneffekt werden durch die Kältebereitstellung mit AKM auch FCKW-haltige - und somit ozonschädigende und auch treibhauswirksame - Arbeitsmittel der elektrischen Kälteaggregate ersetzt, wobei die Arbeitsmittel von AKM aus Ammoniak oder LiBr/H<sub>2</sub>O-Gemischen bestehen, also ökologisch nur geringe Gefahren aufweisen.

Die Kraft-Kälte-Kopplung (KKK) ist mittlerweile ein technisch ausgereiftes System, das in vielfältigen Einsatzbereichen bei Industrie und Gewerbe seine Eignung und Effizienz demonstriert hat. Schwerpunkte für KKK liegen im Kleinverbrauch (Büros, Großmärkte, Lager) und der Lebensmittelindustrie (Kühlung). Für die Einsatzbereiche der KKK ist zudem wesentlich, daß bei geringer Kühllast die Abwärme konventionell für Heizzwecke genutzt werden kann, wobei die Übergänge gleitend gestaltet werden können. Bei geringer Kühllast im Winter wird z.B. im Banken- und Versicherungswesen oder in Kaufhäusern Heizwärme bereitgestellt, während im Sommer die Abwärme zur Klimatisierung dient. Damit kann die gekoppelte Stromerzeugung *ganzjährig* erfolgen.

In der Industrie kann die KKK das durch Wärmeeinsparung reduzierte KWK-Potential kompensieren, da mit ihr *zusätzliche* Anwendungsgebiete für die gekoppelte Strombereitstellung erschlossen werden.

Die Kraft-Wärme-Kopplung versorgt private Verbraucher (Haushalte) sowie öffentliche Einrichtungen aller Art mit Nah- und Fernwärme, im industriellen Bereich wird zusätzlich auch Prozeßwärme bereitgestellt. Dabei werden in den Szenarien zwei Anlagentypen unterschieden:

- \* KWK-Anlagen, die nur dann Strom erzeugen, wenn gleichzeitig die Wärme von VerbraucherInnen nachgefragt wird, d.h. die Erzeugung ist wärmeorientiert;
- \* Anlagen, die auch dann Strom erzeugen können, wenn die Wärme nicht von den KundInnen abgenommen wird, wobei für diese Zeit die Abwärme über Rückkühlung oder Kühltürme abgeführt wird. Die Betriebsweise ist demnach stromorientiert.

Der Bereich der wärmeorientierten Heizkraftwerke (HKW) entspricht der Mehrzahl der heutigen Anlagen, die mit Gegendruckturbinen, Verbrennungsmotoren oder Gasturbinen arbeiten. Stromorientierte HKW mit Entnahme-Kondensationsturbinen sind heute dagegen nur in geringem Umfang in Betrieb, erzeugen allerdings den Großteil des KWK-Stroms.

Sowohl im Referenz- wie auch im Energiewende-Szenario wird von einem steigenden Nah- und Fernwärmebedarf ausgegangen, wobei sich allerdings das Ausmaß der Steigerung deutlich unterscheidet (vgl. Kap. 4.3).

Die Bereitstellung der von KWK-Strom im **Referenz-Szenario** erfolgt praktisch ausschließlich in wärmeorientierten KWK-Systemen, die folgende Tabelle zeigt die entsprechenden Leistungen.

Tab. 0.7: Entwicklung der elektrischen KWK-Leistung im Referenz-Szenario (in MW<sub>el</sub>)

	1995	2000	2005	2010	2015	2020
StK-HKW	1275	1425	1657	1860	1966	1992
BrK-HKW	1240	902	725	738	699	666
Öl-S-HKW	539	559	506	359	306	270
Öl-EL-HKW	394	497	510	461	430	410
Gas-HKW	1934	2460	2931	3379	3759	4133
Gas-BHKW	147	223	284	363	448	547
<b>Summe</b>	<b>5.529</b>	<b>6.066</b>	<b>6.613</b>	<b>7.160</b>	<b>7.608</b>	<b>8.018</b>

Quelle: Prognos 1995

Ausgehend von der schon heute stattfindenden gekoppelten Stromerzeugung wurde für das Referenz-Szenario entsprechend den Ansätzen von (Prognos 1995) eine strukturell gleichbleibende Erzeugung angenommen, d.h. heute betriebene Anlagen werden modernisiert und neue Anlagen mit höherer Stromkennzahl zugebaut. Die hieraus resultierende Stromerzeugung zeigt folgende Tabelle.

Tab. 0.8: Entwicklung der KWK-Stromerzeugung im Referenz-Szenario (in GWh<sub>el</sub>)

	1995	2000	2005	2010	2015	2020
StK-HKW	6.376	7.124	8.285	9.302	9.830	9.962
BrK-HKW	6.200	4.509	3.624	3.690	3.496	3.331
Öl-S-HKW	2.693	2.793	2.530	1.796	1.532	1.351
Öl-EL-HKW	1.968	2.487	2.549	2.306	2.151	2.051
Gas-HKW	9.670	12.302	14.657	16.896	18.794	20.665
Gas-BHKW	733	1.116	1.418	1.813	2.240	2.734
<b>Summe</b>	<b>27.641</b>	<b>30.331</b>	<b>33.062</b>	<b>35.803</b>	<b>38.042</b>	<b>40.094</b>

Quelle: Prognos 1995

Im **Energiewende-Szenario** wird dagegen ein deutlicher Zubau von stromorientierten Heizkraftwerken (Entnahme-Kondensation) sowie eine starke Ausweitung der dezentralen Kraft-Wärme-Kopplung durch Gasmotoren (BHKW) und Gasturbinen angenommen<sup>16</sup>. Eine wichtige Rolle bei der schnellen Realisierung der industriellen KWK-Potentiale spielt neben dem Zubau auch die Verbesserung *bestehender* Anlagen durch moderne Gasturbinen ("topping") und Kombi-Heizkraftwerke, womit bei gleicher Wärmenutzung deutlich mehr Strom bereitgestellt werden kann. Die Stromkennzahl (Verhältnis von Strom- zu Wärmeleistung) der Heizkraftwerke im öffentlichen Bereich (Nah- und

<sup>16</sup> Die "konventionelle" Stromerzeugung über Kondensationskraftwerke im Industriebereich geht im Energiewende-Szenario bis zum Jahr 2020 gegen Null zurück, d.h. es wird nur noch KWK-Strom erzeugt.

Fernwärme) steigt im Energiewende-Szenario stärker an als in der Referenzentwicklung. Damit kann bei gleicher Wärmenachfrage mehr Strom in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt werden<sup>17</sup>.

Anders als im Referenz-Szenario, bei dem die Struktur der KWK-Erzeugung weitgehend gleich bleibt, ändert sich in Energiewende-Szenario - bei stark wachsender Fern- und Nahwärmenachfrage - der Erzeugungsmix strategiebedingt spürbar (vgl. folgende Tabelle).

Tab. 0.9: Erzeugungsmix für Nah- und Fernwärme aus KWK-Anlagen im Energiewende-Szenario

	<b>1995</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
StK-HKW	26%	25%	25%	25%	25%	25%
BrK-HKW	25%	15%	15%	13%	10%	10%
Öl-S-HKW	8%	6%	0%	0%	0%	0%
Öl-EL-HKW	6%	4%	2%	0%	0%	0%
Gas-HKW	29%	42%	41%	38%	33%	30%
Gas-BHKW	2%	5%	15%	20%	25%	25%
Müll-HKW	5%	3%	0%	0%	0%	0%
Bio-BHKW	0%	0%	3%	5%	8%	10%

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

Während Steinkohle prozentual fast gleich bleibt, verliert Braunkohle erhebliche Marktanteile. Dies liegt vor allem an der Umrüstung von älteren Heizkraftwerken in Ostdeutschland auf moderne Erdgas-technologien.

Durch den Zubau von neuen Gas-Heizkraftwerken (mit Gasturbinen und GuD-Technik) gewinnen diese Anlagen bis 2005 erhebliche Anteile, gehen dann aber zugunsten von dezentralen BHKW wieder anteilig zurück. Der Grund hierfür liegt darin, daß eine nahwärmeorientierte Planung von Neubaugebieten sowie die Umrüstung bestehender gasversorgter Gebiete auf Nahwärme längere Vorlaufzeiten benötigen.

Die Nutzung von Müll (Abwärme aus Müllverbrennung) wird im Energiewende-Szenario aus Umweltgründen ebenso wie der Öleinsatz auf Null reduziert, während die Nutzung von Restbiomassen in BHKW ab dem Jahr 2005 spürbar anwächst. Entsprechende Technologien - insbesondere zur dezentralen Vergasung von Biomasse - werden ab dem Jahr 2000 marktreif sein, so daß eine schnelle Einführung ab diesem Zeitpunkt zu Lasten von Erdgas-BHKW möglich wird.

Die folgenden Tabellen zeigen die entsprechenden Daten für Leistung und Stromerzeugung.

<sup>17</sup> Eine Übersicht zu den Kenndaten der Heizkraftwerke in den Szenarien geben Tabellen im Anhang.

Tab. 0.10: Entwicklung der elektrischen KWK-Leistung im Energiewende-Szenario (in MW<sub>el</sub>)

	<b>1995</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
StK-HKW	1.275	2.394	5.429	6.726	6.974	7.117
BrK-HKW	1.240	1.436	3.257	3.363	2.790	2.847
ÖI-S-HKW	539	575	-	-	-	-
ÖI-EL-HKW	394	383	178	-	-	-
Gas-HKW	1.934	6.777	16.172	16.815	15.866	15.658
Gas-BHKW	147	798	3.109	4.932	6.684	7.117
<b>Summe</b>	<b>5.528</b>	<b>12.364</b>	<b>28.145</b>	<b>31.837</b>	<b>32.314</b>	<b>32.738</b>

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

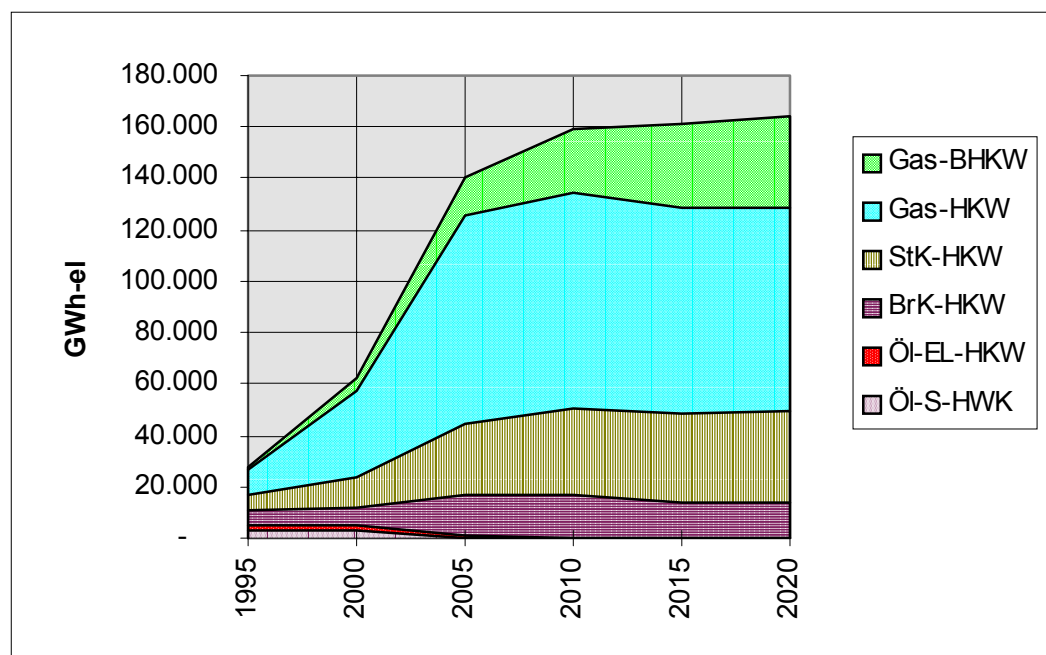
Tab. 0.11: Entwicklung der KWK-Stromerzeugung im Energiewende-Szenario (in GWh<sub>el</sub>)

	<b>1995</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
StK-HKW	6.376	11.971	27.143	33.630	34.871	35.585
BrK-HKW	6.200	7.182	16.286	16.815	13.948	14.234
ÖI-S-HKW	2.693	2.873	-	-	-	-
ÖI-EL-HKW	1.968	1.915	888	-	-	-
Gas-HKW	9.670	33.886	80.861	84.076	79.332	78.288
Gas-BHKW	733	3.990	15.546	24.662	33.418	35.585
<b>Summe</b>	<b>27.641</b>	<b>61.818</b>	<b>140.725</b>	<b>159.184</b>	<b>161.569</b>	<b>163.692</b>

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Entwicklung nochmals im Überblick.

Abb. 0.3: Entwicklung der KWK-Stromerzeugung im Energiewende-Szenario



Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

Deutlich erkennbar ist hier der starke Zuwachs von KWK-Strom aus Stein- und Braunkohle sowie die gegenüber dem Referenzszenario erhebliche Ausweitung der Kraft-Wärme-Kopplung mit Erdgas, vor allem in BHKW. Demgegenüber sinkt die KWK-Stromerzeugung aus Öl auf Null - anders als im Referenzfall sind hier die Umweltbelastungen durch schweres Heizöl bzw. Diesel ein zentrales Hemmnis.

Insgesamt steigt im Energiewende-Szenario die Stromerzeugung aus KWK-Anlagen gegenüber dem Referenz-Szenario um rund das Vierfache bis zum Jahr 2020 an, wobei vor allem Erdgas und Steinkohle starke Zuwächse zeigen.

**Diese Philosophie entspricht der "Umleitung" einerseits von Erdgas aus der reinen Bereitstellung von Raumwärme in die effizientere Kraft-Wärme-Kopplung, andererseits von Kohle aus der reinen Stromerzeugung in (größere) KWK-Anlagen.**

Bezüglich der angenommenen zeitlichen Dynamik der KWK-Stromerzeugung gilt folgendes:

In den ersten 10 Jahren steigt die KWK-Stromerzeugung gegenüber dem Referenz-Szenario vor allem durch den stärkeren Einsatz hocheffizienter Gas-GuD-Anlagen zu Lasten von Braunkohle an - hier werden moderne Anlagen in bestehende Fernwärmenetze sowie in Industriebetriebe integriert. Die erste Phase des KWK-Ausbaus ist damit von einer **Umrüstung** geprägt: ältere KWK-Anlagen mit geringer Stromerzeugung werden durch moderne Anlagen mit hoher Stromkennzahl ersetzt, parallel findet ein Austausch emissionsintensiver gegen emissionsarme Techniken statt.



Nach dem Jahr 2005 wird im Energiewende-Szenario ein starker Ausbau vor allem der dezentralen KWK-Techniken angenommen. Grund hierfür ist, daß ab diesem Zeitpunkt neben heutigen BHKW mit Gasmotoren dann auch Brennstoffzellen großtechnisch zur Verfügung stehen, die deutlich höhere Nutzungsgrade und geringere Emissionen aufweisen als Verbrennungsmotoren. Die Wartung und Instandhaltung dieser Anlagen wird zudem deutlich kostengünstiger sein und eine Integration in kleinere Objekt-Wärmeversorgungen in Haushalten, Kleinverbrauch und Industrie ist ohne nennenswerten Wärmenetzausbau möglich.

### **Über den Tag hinaus: Solarenergie statt Strom und Wärme...**

Im Energiewende-Szenario wird zusätzlich zu der o.g. Wärmeerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung ab dem Jahr 2005 ein Anteil von **direkter Solarenergienutzung** bei der Nah- und Fernwärme berücksichtigt, d.h. ein Teil der Nah- und Fernwärme wird nicht über Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt, sondern als "solare Nahwärme" über thermische Kollektoren zur Unterstützung von Kraft-Wärme-Systemen vor allem in den Übergangszeiten eingesetzt.

Damit reduziert sich zwar die mögliche KWK-Stromerzeugung, jedoch wird eine längerfristig wichtige Option zur Nutzung regenerativer Energien im Heizungsbereich im Szenario eingeführt.

Die Bedeutung dieser Anlagen wird allerdings beim heutigen Technikstand erst nach 2010 steigen, wenn verbesserte Kollektoren und Langzeit-Wärmespeicher den solaren Deckungsanteil erhöhen können. Im Energiewende-Szenario wird angenommen, daß im Jahr 2020 bis zu 10% der gesamten Nah- und Fernwärmenachfrage durch direkte Solarwärmebereitstellung erfolgt.

## **5.3 Regenerative Energien zur Strombereitstellung im Energiewende-Szenario**

Der Schwerpunkt bei dem Einsatz von regenerativen Energiequellen im Energiewende-Szenario liegt im Bereich der Stromerzeugung<sup>18</sup>. Im Referenz-Szenario werden erneuerbare Energien nur in geringem Umfang zur Stromerzeugung genutzt (vgl. oben Tab. 5.4). Im Energiewende-Szenario erfolgt dagegen ein **strategischer Ausbau** vor allem der Wind-, Biomasse und Solarenergienutzung zur Stromerzeugung.

---

<sup>18</sup> Dies vor allem deshalb, weil die derzeitige Stromerzeugung auf fossiler und nuklearer Basis zu über 90% in reinen Kondensationskraftwerken erfolgt, die nur einen geringen Wirkungsgrad aufweisen. Eine Kilowattstunde Strom, mit regenerativen Energieträgern erzeugt, kann somit bis zu drei Kilowattstunden aus fossilen oder nuklearen Primärenergieträgern und die damit verbundenen Schadstoffemissionen einsparen.

Tab. 0.12: Entwicklung der Kraftwerksleistung aus regenerativen Energiequellen im Energiewende-Szenario (in MW<sub>eI</sub>)

	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Bio-BHKW	-	-	518	1.233	2.005	2.847
Bio-GuD	-	500	3.000	5.000	6.250	7.500
Wasser	8.887	10.429	10.720	10.770	10.810	10.851
Wind	900	3.250	10.000	13.333	16.667	20.000
Solar-PV	15	250	1.500	5.000	10.000	15.000
<b>Summe</b>	<b>9.802</b>	<b>14.429</b>	<b>25.738</b>	<b>35.336</b>	<b>45.732</b>	<b>56.198</b>

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

Bei der **Biomasse**<sup>19</sup> wurden nur solche Potentiale genutzt, die sich **ohne zusätzlichen Anbau** bei alleiniger Nutzung von Reststoffen der Forst- und Landwirtschaft sowie (getrennt gesammelten) biogenen Anteilen des Haus- und Gewerbemülls ergeben. Dabei wurden dem dezentralen Anfall der Restbiomassen entsprechende Anlagengrößen angenommen (BHKW: 100 kW<sub>eI</sub>, GuD: 10 MW<sub>eI</sub>).

Die Aufteilung der installierten Leistung für **Windkraftwerke** und **Photovoltaik** wurde in Anlehnung an die bisherigen Energiewende-Szenarien vorgenommen (Öko-Institut 1990+1992), wobei aktualisierte Daten zur wirtschaftlichen Größe einbezogen, die Restriktionen durch Natur-, Landschafts- und Denkmalschutz berücksichtigt und eine aggressive Aufbau-logik der Photovoltaik-Industrie angenommen wurden.

Die Annahmen zur Windenergie schöpfen die bestehenden Potentiale (vgl. Anhang) nicht aus, gehen jedoch von einer Nutzung auch ertragreicher Binnenlandsstandorte aus. Erfahrungen aus Hessen und Thüringen zeigen, daß auch hier nennenswerte Potentiale dezentral erschlossen werden können. Ab dem Jahr 2010 **könnte** anstelle des weiteren Ausbaus der landgestützten Anlagen auch alternativ ein seegestützter Ausbau stattfinden (offshore-Anlagen), für den es bisher jedoch noch zu geringe Erfahrungen hinsichtlich Kosten und Umwelteffekten gibt<sup>20</sup>.

Die installierte Leistung der meisten regenerativen Energiequellen kann - anders als fossile oder nukleare Techniken - nur nach gegebenem Energieangebot betrieben werden, ein aktives "Einlasten" ist meist nicht möglich. Die Stromerzeugung ergibt sich bei gegebener Leistung daher durch die dem Energieangebot entsprechenden Vollaststunden. Die folgende Tabelle zeigt die entsprechenden Einzelwerte.

<sup>19</sup> Bio-BHKW sind dezentrale KWK-Anlagen, die mit Biogas aus der Fermentation und Vergasung von Rest-Biomassen betrieben werden, Bio-GuD sind größere Kombi-Kraftwerke (Gasturbinen mit nachgeschaltetem Abhitze-kessel und Dampfturbine), die Brennstoff aus der Vergasung von Rest-Biomassen beziehen.

<sup>20</sup> Durch die offshore-Windnutzung ließen sich tendenziell die Nutzungskonflikte mit Natur- und Landschaftsschutz verringern. Erste Erfahrungen aus Dänemark und Schweden sind durchweg positiv, wenngleich die ökonomischen Erwartungen bislang nicht erfüllt wurden.

Tab. 0.13: Entwicklung der Stromerzeugung aus regenerativen Energiequellen im Energiewende-Szenario (in GWh<sub>el</sub>)

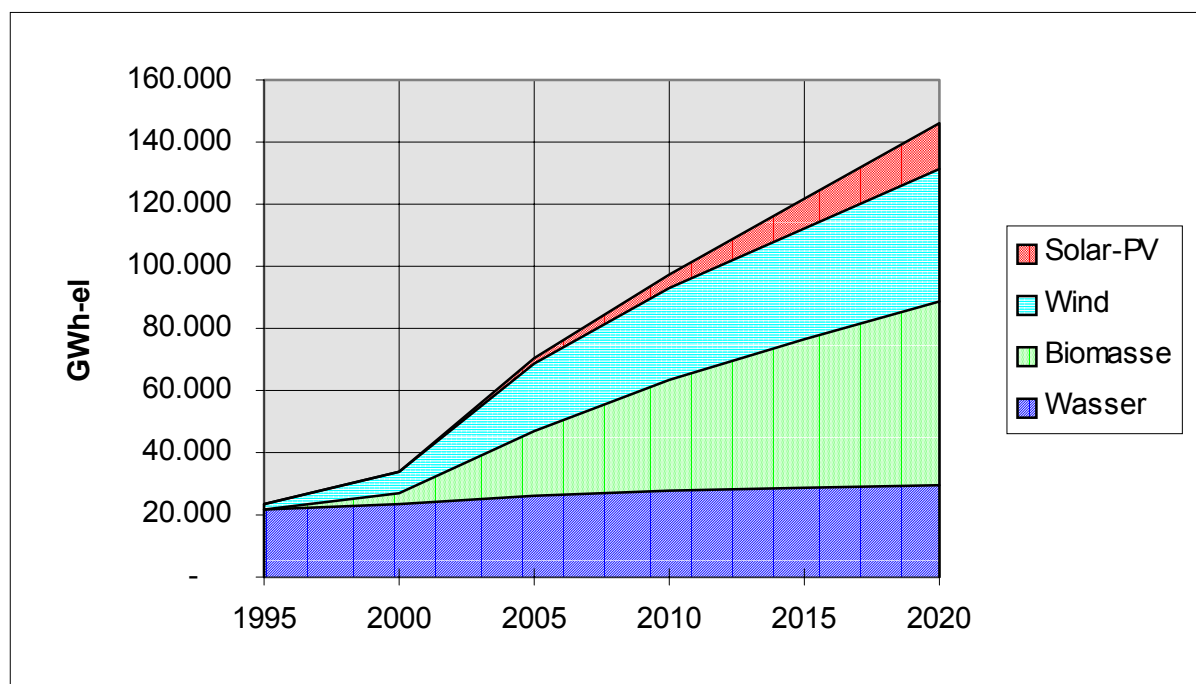
	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Bio-BHKW	-	-	2.591	6.166	10.025	14.234
Bio-GuD	-	3.000	18.000	30.000	37.500	45.000
Wasser	21.465	23.842	26.229	27.593	28.962	29.839
Wind	1.890	7.150	22.000	28.889	35.556	42.000
Solar-PV	15	275	1.575	5.000	10.000	15.000
<b>Summe</b>	<b>23.370</b>	<b>34.267</b>	<b>70.395</b>	<b>97.647</b>	<b>122.043</b>	<b>146.073</b>

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

Danach stellen Wasser- und Windkraftwerke im Jahr 2020 rund 30 bzw. 42 TWh Strom bereit, während Photovoltaikanlagen immerhin 15 TWh - mehr als zwei große AKW-Blöcke - erzeugen. Auch die Biomasse hat - ähnlich wie im Referenz-Szenario - eine stark steigende Rolle bei der Stromerzeugung, wobei allerdings *keine* Müllverbrennung eingerechnet wurde. Mit zusammen rd. 60 TWh stellt sie den größten Einzelbeitrag dar. Die regenerativen Energien zusammengenommen erzeugen im Energiewende-Szenario mit 146 TWh rund 35 % des gesamten Strombedarfs und stellen knapp 50 % der Kraftwerksleistung im Jahr 2020 bereit.

Die folgende Abbildung zeigt nochmals die Anteile der verschiedenen regenerativen Energiequellen an der Stromerzeugung.

Abb. 0.4: Entwicklung der Stromerzeugung aus regenerativen Energiequellen im Energiewende-Szenario



Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

Deutlich sichtbar ist der nur gering steigende "Sockel" der Stromerzeugung aus **Wasserkraft**. Durch Reaktivierungs- und Sanierungsmaßnahmen bei bestehenden Anlagen kann die Stromerzeugung zwar

auf knapp 30 TWh gesteigert werden, die ökologischen Probleme neuer - vor allem größerer - Anlagen verhindern jedoch einen weiteren Ausbau.

Der Zuwachs bei der Stromerzeugung aus **Biomasse** beruht - dies sei nochmals betont - ausschließlich auf der Nutzung von Restbiomassen. Würde - etwa im Zuge der Diskussion um eine andere Agrar- oder Forstpolitik - ein aktiver Anbau von Biomassen zur Energiebereitstellung angenommen, ließe sich die Stromerzeugung um mindestens 100 % steigern<sup>21</sup>.

Die Erzeugung von Strom aus **Wind** erreicht bis 2020 mit 42 TWh den zweiten Platz der Regenerativen und liegt fast 50 % über der Produktion aus Wasserkraft. Etwa 15-20 % des Windstroms wird an Binnenlandstandorten bereitgestellt, die anderen 80-85 % in den deutschen Küstenregionen<sup>22</sup>.

Die **Solarenergienutzung** mittels Photovoltaik kann trotz massivem Ausbau aufgrund der relativ geringen Vollaststunden mit 15 TWh nur rund 10 % des gesamten REQ-Stroms erzeugen. Damit liegt sie in der gleichen Größenordnung wie Strom aus Bio-BHKW. Ihr **Potential** ist jedoch weitaus größer - eine stärkere Nutzung hängt entscheidend von weiteren Verbesserungen der Technik ab, die heute noch spekulativ (aber durchaus möglich) sind.

Für die PV-Anlagen wird im Energiewende-Szenario im Jahr 2020 weniger als 0,5 % aller Dachflächen in Deutschland benötigt, allerdings bindet der Aufbau dieser Kraftwerksleistung einen erheblichen Teil der Investitionsmittel im Kraftwerkspark der regenerativen Energiequellen (vgl. zu den wirtschaftlichen Fragen näher Kap. 6.3).

**Nicht berücksichtigt** wurden im Energiewende-Szenario die weiteren Potentiale regenerativer Energiequellen zur Stromerzeugung mittels **Wellen- und Gezeitenenergie** sowie **Geothermie**. Für die ersteren sind offene technische und ökologische Fragen der Hauptgrund, bei der Geothermie ist in Deutschland derzeit nur ein sehr geringes Potential an Heißwasser bekannt.

Mögliche Fortentwicklungen des Hot-Dry-Rock-Verfahrens (HDR), das vor allem in den USA und Japan untersucht wird, oder kostengünstigere Verfahren zur Stromerzeugung bei niedrigen Temperaturen (binäre Zyklen mit ORC-Technik) könnten zwar eine beträchtliche Erweiterung des Potentials der Geothermie zur Stromerzeugung bringen, sind aber derzeit noch spekulativ<sup>23</sup>.

---

<sup>21</sup> Dies wird hier vor allem aufgrund der noch ungelösten Fragen der ökologischen Folgen nicht angenommen.

<sup>22</sup> Die mittelfristig mögliche offshore-Windnutzung ist dabei nicht berücksichtigt.

<sup>23</sup> Beim HDR sind zudem die ökologischen Folgen weitgehend unbekannt.

## 6 Ergebnisse des Energiewende-Szenarios

### 6.1 Primärenergie

Der Verbrauch an Primärenergie in den beiden betrachteten Szenarien ist abhängig von der Endenergienachfrage und den Strukturen im Umwandlungsbereich. Hier sind die Zusammensetzung des Kraftwerksparks und seine Fahrweise von besonderer Bedeutung.

Im Referenz-Szenario bleibt der Bedarf an Primärenergie über den Betrachtungszeitraum in etwa konstant (vgl. Abb. 2.2). Um einen Vergleich mit dem Energiewende-Szenario zu ermöglichen, ist in Tab. 6.1 die Struktur des Primärenergieverbrauchs in der Referenzentwicklung detailliert dargestellt. Die stärkste Zunahme ist bei Gas zu verzeichnen, der Verbrauch steigt hier zwischen 1992 und 2020 um rund ein Drittel. Während der Einsatz von Steinkohle konstant bleibt, reduziert sich die Braunkohleförderung um 37 %. Die Stromimporte liegen höher als die inländische Erzeugung aus Wasserkraft. Im Bereich der erneuerbaren Energien werden Windenergie und Biomassenutzung ausgebaut, der Anteil regenerativer Energiequellen bleibt jedoch bis zum Jahr 2020 unterhalb von 4 % der Primärenergiebilanz.

Tab. 0.1: Struktur des Primärenergieverbrauchs im Referenz-Szenario

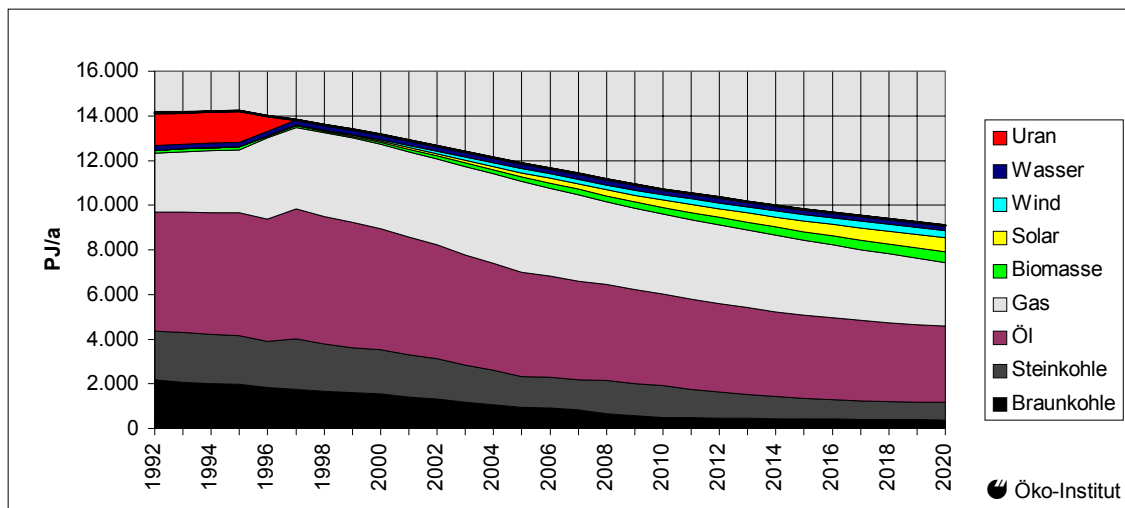
in PJ	1992	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Uran	1.497	1.385	1.429	1.332	1.300	1.272	1.237
Braunkohle	2.177	1.966	1.551	1.532	1.462	1.431	1.368
Steinkohle	2.178	2.190	2.198	2.180	2.180	2.148	2.118
Öl	5.343	5.499	5.778	5.644	5.494	5.323	5.175
Gas	2.632	2.812	3.125	3.248	3.358	3.451	3.521
Biomasse	124	142	159	182	199	215	241
Solar	0	0	1	1	2	2	3
Wind	4	18	35	47	57	60	64
Wasser	206	203	211	213	215	214	212
Strom-Importe	-52	9	20	96	160	199	269
Summe	14.108	14.224	14.505	14.476	14.426	14.316	14.206
Anteile in %	1992	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Uran	10,6%	9,7%	9,9%	9,2%	9,0%	8,9%	8,7%
Braunkohle	15,4%	13,8%	10,7%	10,6%	10,1%	10,0%	9,6%
Steinkohle	15,4%	15,4%	15,2%	15,1%	15,1%	15,0%	14,9%
Öl	37,9%	38,7%	39,8%	39,0%	38,1%	37,2%	36,4%
Gas	18,7%	19,8%	21,5%	22,4%	23,3%	24,1%	24,8%
Biomasse	0,9%	1,0%	1,1%	1,3%	1,4%	1,5%	1,7%
Solar	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Wind	0,0%	0,1%	0,2%	0,3%	0,4%	0,4%	0,4%
Wasser	1,5%	1,4%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%
Strom-Importe	-0,4%	0,1%	0,1%	0,7%	1,1%	1,4%	1,9%
Summe	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Summe Anteil Regenerative	2,4%	2,6%	2,8%	3,1%	3,3%	3,4%	3,7%
Summe Anteil Fossile	87,4%	87,6%	87,2%	87,1%	86,6%	86,3%	85,7%

Quelle: Prognos 1995, Berechnungen des Öko-Instituts

Wie Abb. 6.1 zeigt, sinkt der Primärenergieverbrauch im Energiewende-Szenario bis zum Jahr 2020 um ca. 35 % gegenüber 1992. Der Ausstieg aus der Atomenergie führt vorübergehend zu einem erhöhten Anteil fossiler Energieträger an der Primärenergiebilanz. Bis zum Ende des Betrachtungszeitraums kann der Einsatz aller fossiler Energieträger außer Gas deutlich unter das Ausgangsniveau

gesenkt werden (bei Braunkohle um über 80 %, bei Steinkohle um ca. 65 %). Die erneuerbaren Energiequellen werden forciert ausgebaut und erreichen Anteile von 10 % der Primärenergiebilanz im Jahr 2010 und 18 % im Jahr 2020. Die detaillierten Zahlen zum Primärenergieverbrauch im Energiewende-Szenario sind in Tabelle dargestellt.

Abb. 0.1: Primärenergieverbrauch im Energiewende-Szenario



Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

Tab. 0.2: Struktur des Primärenergieverbrauchs im Energiewende-Szenario

in PJ	1992	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Uran	1.497	1.385	0	0	0	0	0
Braunkohle	2.177	1.966	1.534	939	498	426	387
Steinkohle	2.178	2.190	1.985	1.411	1.411	916	778
Öl	5.343	5.499	5.428	4.650	4.101	3.729	3.410
Gas	2.632	2.812	3.785	4.084	3.582	3.347	2.858
Biomasse	124	142	92	207	307	391	473
Solar	0	0	43	180	326	488	635
Wind	4	18	65	194	243	285	320
Wasser	206	203	218	231	232	232	227
Strom-Importe	-52	9	0	0	0	0	0
<b>Summe</b>	<b>14.108</b>	<b>14.224</b>	<b>13.150</b>	<b>11.896</b>	<b>10.701</b>	<b>9.813</b>	<b>9.089</b>
Anteile in %	1992	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Uran	10,6%	9,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Braunkohle	15,4%	13,8%	11,7%	7,9%	4,7%	4,3%	4,3%
Steinkohle	15,4%	15,4%	15,1%	11,9%	13,2%	9,3%	8,6%
Öl	37,9%	38,7%	41,3%	39,1%	38,3%	38,0%	37,5%
Gas	18,7%	19,8%	28,8%	34,3%	33,5%	34,1%	31,4%
Biomasse	0,9%	1,0%	0,7%	1,7%	2,9%	4,0%	5,2%
Solar	0,0%	0,0%	0,3%	1,5%	3,0%	5,0%	7,0%
Wind	0,0%	0,1%	0,5%	1,6%	2,3%	2,9%	3,5%
Wasser	1,5%	1,4%	1,7%	1,9%	2,2%	2,4%	2,5%
Strom-Importe	-0,4%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
<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>Summe Anteil Regenerative</b>	<b>2,4%</b>	<b>2,6%</b>	<b>3,2%</b>	<b>6,8%</b>	<b>10,4%</b>	<b>14,2%</b>	<b>18,2%</b>
<b>Summe Anteil Fossile</b>	<b>87,4%</b>	<b>87,6%</b>	<b>96,8%</b>	<b>93,2%</b>	<b>89,6%</b>	<b>85,8%</b>	<b>81,8%</b>

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

### 6.1.1 Die Bedeutung und Verfügbarkeit von Erdgas

Der Energieträger Erdgas spielt im Energiewende-Szenario eine besondere Rolle: Aufgrund des im Erdgas enthaltenen Wasserstoffanteils liegen die direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Verbrennung einer Energieeinheit Erdgas um 25 % niedriger als bei Verwendung von Heizöl und um 40 % niedriger als bei Kohle - diese Relationen bleiben in etwa auch erhalten, wenn die gesamte Erdgas-Prozesskette betrachtet wird<sup>24</sup>. Nach der Aufbereitung ist Erdgas zudem weitgehend schwefelfrei, bei der Nutzung entsteht fast kein Staub, kein Abwasser, keine festen Reststoffe - und auch die Stickoxidemissionen können unter die von Öl oder Kohle gesenkt werden. Moderne Techniken zur Gasnutzung - vor allem fortschrittliche Gasturbinen und GuD-Anlagen - erlauben zudem vergleichsweise hohe Nutzungsgrade bei relativ geringen Investitions- und Betriebskosten<sup>25</sup>.

Aus diesen Gründen wird im Kraftwerkspark des Energiewende-Szenarios Erdgas als "Brücke" verwendet, die den AKW-Ausstieg mit dem Einstieg in eine effizientere (KWK-orientierte) und der Nutzung regenerativer Energien verbindet. Die Leistung von gasbefeuerten Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung steigt innerhalb von 28 Jahren um das zehnfache des heutigen Werts auf insgesamt 23 GW<sub>el</sub>. Im Bereich der Kondensationskraftwerke sind hocheffiziente GuD-Anlagen der einzige Kraftwerkstyp, der in nennenswertem Umfang als Ersatz älterer Gas- und Ölkraftwerke zugebaut wird: 16,5 GW<sub>el</sub> an neuen GuD-Anlagen gegenüber 19 GW älterer Gas- und Ölkraftwerke<sup>26</sup>.

Der Gaseinsatz in der Stromerzeugung liegt daher im Energiewende-Szenario in den ersten zehn Jahren nach dem Ausstieg aus der Atomenergie um bis zu 150 % über dem im Referenz-Szenario. Danach sinkt der Mehreinsatz aufgrund der Erfolge bei der Stromeinsparung und dem wachsenden Beitrag der erneuerbaren Energiequellen zur Stromproduktion wieder ab. Über den gesamten Betrachtungszeitraum hinweg liegt der Gaseinsatz **im Kraftwerkssektor** im Energiewende-Szenario etwa beim Doppelten der Referenzentwicklung. Auch in den einzelnen Energieverbrauchssektoren (Haushalte, Kleinverbrauch, Industrie) steigt aufgrund der gezielten Energieträgersubstitution **der Anteil** des Erdgases am Endenergieverbrauch.

Bei einer derartigen Zunahme der Bedeutung eines Energieträgers stellt sich die Frage nach der Sicherheit der Versorgung und den langfristigen Ressourcen.

Zunächst muß allerdings festgestellt werden, daß zwar der *Anteil* des Erdgases bei den einzelnen Sektoren des Energieverbrauchs im Energiewende-Szenario höher als in der Referenzentwicklung liegt, aufgrund des insgesamt niedrigeren Verbrauchs jedoch der *absolute Gaseinsatz* nicht in gleichem Maße steigt. Der absolute Erdgasverbrauch ist der Primärenergiebilanz zu entnehmen (vgl. Abb. 6.2). Hier ist zu erkennen, daß bedingt durch den Atomausstieg der Verbrauch in den ersten zehn Jahren um ca. 25 % über der Referenzentwicklung liegt. Ab dem Jahr 2010 kommen die Fortschritte bei der Energieeinsparung und dem Einsatz der erneuerbaren Energiequellen auch in den einzelnen

---

<sup>24</sup> Die direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen stammen aus dem C-Anteil des Brennstoffs. Hinzu kommen indirekte Emissionen aus Förderung, Aufbereitung und Transport des Energieträgers (vorgelagerte Prozesskette) sowie ebenfalls treibhauswirksame Emissionen von CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O. Erst aus all diesen klimarelevanten Faktoren ergibt sich die gesamte Treibhauswirkung eines Brennstoffes (vgl. dazu näher Öko/GhK 1994)

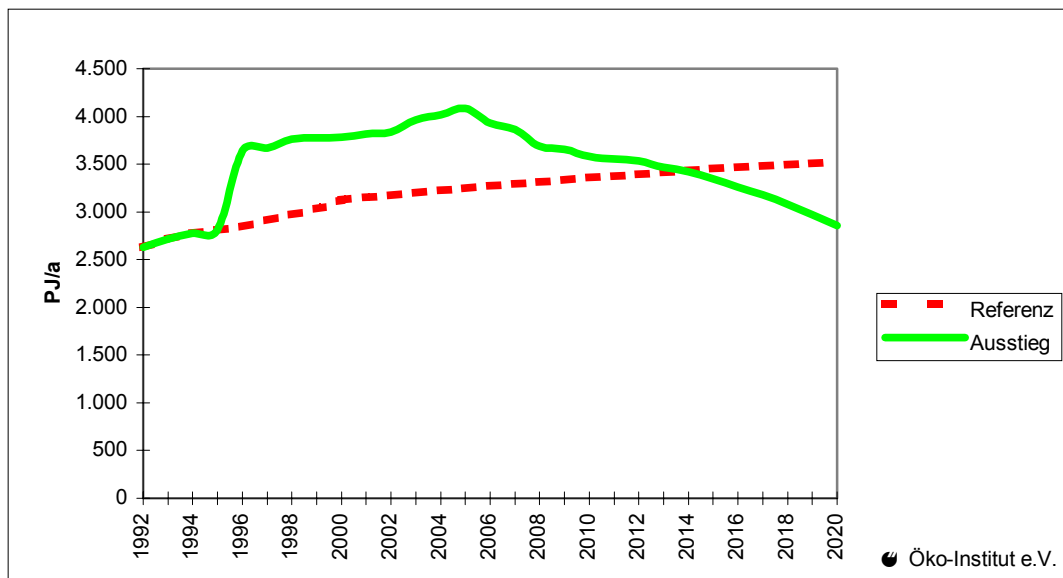
<sup>25</sup> In Zukunft werden sich diese Vorteile durch den Einsatz von Brennstoffzellen noch vergrößern können.

<sup>26</sup> Für eine detailliertere Darstellung der Entwicklungen im Kraftwerkspark siehe Kapitel 5.1.

Energieverbrauchssektoren verstärkt zur Wirkung, so daß die Differenz absinkt. Am Ende des Betrachtungszeitraums liegt der Gasverbrauch sogar um rund 20 % unter dem des Referenz-Szenarios.

Über den Szenariozeitraum **kumuliert** liegt der gesamte Gaseinsatz im Energiewende-Szenario nur um 8 % höher als im Referenz-Szenario, allerdings mit einer erhöhten Nachfrage in den ersten Jahren nach dem Atomausstieg.

Abb. 0.2: Einsatz von Erdgas im Referenz- und im Energiewende-Szenario (Ausstieg)



Quelle: Prognos 1995, Berechnungen des Öko-Instituts

In der Prognos-Untersuchung für das Bundeswirtschaftsministerium findet sich ein Beitrag von Energy Advice Ltd. zur Entwicklung des europäischen Erdgasmarktes. Dort wird ein sehr optimistisches Bild von den möglichen Fördermengen innerhalb Europas und den außereuropäischen Lieferoptionen (vorwiegend aus Rußland, dem Nahen Osten und Algerien) gezeichnet. Auch die Entwicklung der Erdgasnachfrage wird von Energy Advice Ltd. sehr optimistisch eingeschätzt. Prognos relativiert einige Aussagen von Energy Advice Ltd., das einhellige Fazit beider Institute ist jedoch, daß Erdgas bis zum Jahr 2020 in Europa reichlich und kostengünstig verfügbar sein wird

Wie Abb. 6.2 zeigt, muß im Energiewende-Szenario innerhalb des von heute aus relativ überschaubaren Zeitraums bis zum Jahr 2020 ein deutlich erhöhter Gasbedarf gedeckt werden. Eine derartige, relativ kurzfristige Nachfrageerhöhung um ca. 25 % wird nur über neu abzuschließende Verträge möglich sein und kann auch Auswirkungen auf die Grenzübergangspreise haben.

Allerdings ist in einer Referenzentwicklung mit moderater Zunahme des Gasverbrauchs in Europa damit zu rechnen, daß sich in den kommenden Jahren im Gassektor ein Käufermarkt mit einem Überangebot und erheblicher Konkurrenz der Anbieter ausbildet. Bei Kraftwerksgas ist damit zu rechnen, daß sich der Gaspreis in Zukunft eher an den Preis der Importkohle anlehnt als an den Rohölpreis. Hier ist aufgrund der starken Konkurrenz verschiedener Anbieter mit einer moderaten Preisentwicklung zu rechnen. Der Einsatz von Gas in Kraftwerken weist über das Jahr hinweg einen gleichmäßigeren Verlauf auf als z.B. die Nachfragekurve im Bereich der Raumwärme. Daher können



die vorhandenen Leitungen besser ausgenutzt werden, zusätzliche Speicherkapazitäten sind kaum erforderlich.

Insgesamt erscheint daher die durch den Ausstieg aus der Atomenergie und die Umstrukturierung des deutschen Kraftwerksparks verursachte vorübergehende Mehrnachfrage nach Erdgas von den Anbietern problemlos zu befriedigen. Erhebliche Auswirkungen auf die Gaspreise sind aufgrund der Preisbindung an die Konkurrenzenergieträger Rohöl und Importkohle sowie aufgrund der mehr als ausreichenden Lieferkapazitäten verschiedener Anbieter nicht zu erwarten.

### 6.1.2 Die Rolle von Braun- und Steinkohle

Im Energiewende-Szenario wird, vor allem aus Gründen des Klimaschutzes der Einsatz von Braun- und Steinkohle stark verringert. Beide Energieträger werden im Jahr 2020 direkt nur noch in einzelnen Industriebranchen eingesetzt, wo sie aus prozeßtechnischen Gründen erforderlich sind (Eisenschaffende Industrie, Kokereien). Ihr direkter Beitrag zur Raum- und Prozeßwärmebereitstellung ist am Ende des Szenariozeitraums praktisch gleich Null.

Im Kraftwerkssektor wird durch ein **Rückgang** der Kondensationsstromerzeugung aus **Steinkohle** um über 95% bis 2020 angenommen, wobei eine teilweise Verlagerung in Richtung KWK-Strom stattfindet: rund 35 TWh, d.h. etwa  $\frac{1}{4}$  der heutigen Erzeugung, wird im Jahr 2020 in modernen KWK-Anlagen in (größeren) Industriebetrieben und Fernwärmenetzen stattfinden.

Insgesamt wird die Steinkohle als Primärenergieträger von rd. 2.200 PJ in 1995 auf knapp 780 PJ in 2020 reduziert, d.h. von rd. 64 Mio tSKE heute auf rd. 23 Mio tSKE in 2020. Ob hiervon ein - kleiner oder größerer - Teil durch deutsche Steinkohle bereitgestellt wird oder ob dies überwiegend Importkohle sein wird, kann im Rahmen dieser Studie nicht beantwortet werden.

Soweit jedoch nicht erhebliche Subventionen langfristig für den Steinkohlebergbau aufgebracht werden, ist ein nennenswerter "heimischer" Anteil mehr als zweifelhaft<sup>27</sup>.

Bei der **Braunkohle** ist aufgrund der angenommenen "Restlaufzeiten" für die gerade sanierten Kraftwerke in den neuen Bundesländern (4 GW<sub>eI</sub>) der Rückgang in der Kondensationsstromerzeugung insgesamt nicht so drastisch wie bei der Steinkohle, dennoch wird auch hier gegenüber heute (rd. 150 TWh) eine Reduktion um rd. 85% auf 24 TWh Strom erzielt. Im Bereich KWK "gewinnt" die Braunkohle demgegenüber nur rd. 6 TWh KWK-Strom, sodaß insgesamt ein Primärenergiebedarf von rd. 11 Mio tSKE im Jahr 2020 besteht gegenüber rd. 57 Mio tSKE heute. Die überwiegende Menge dieser Braunkohle wird in den neuen Ländern benötigt werden, sodaß ein weiterer Tagebau in Westdeutschland (rheinisches Revier) im Energiewende-Szenario **nicht erforderlich** ist. Ein Aufschluß etwa des geplanten Tagebaus Garzweiler II entfiel somit.

### 6.1.3 Die Bedeutung der Regenerativen

Neben der schon diskutierten Rolle der regenerativen Energiequellen (REQ) im Bereich der Endenergie (vgl. Kapitel 4.3) sowie bei der Stromerzeugung (vgl. Kapitel 5.3) interessiert ihr Beitrag zur

---

<sup>27</sup> Im Referenz-Szenario wird im Jahr 2020 ohne weitere Begründung von rd. 2/3 Importkohle ausgegangen.

Primärenergiebilanz im Energiewende-Szenario- hier kann ihre Bedeutung im Rahmen der gesamtes Energiesystems und die jeweiligen Einzelbeiträge sektorübergreifend analysiert werden.

Zum besseren Verständnis wird im folgenden die Nutzung von Biomasse in einen "thermischen" Anteil sowie einen "elektrischen" bzw. "KWK"-Anteil unterschieden. Der "thermische" Anteil bezieht sich auf den direkten Biomasseeinsatz als Endenergieträger, vor allem zur Wärmebereitstellung im Bereich von Einzelfeuerungen. Der "el./KWK"-Anteil bezieht sich dagegen auf die Biomassen, die zur Stromerzeugung bzw. in KWK-Anlagen verwendet werden.

Ähnlich wird die Solarenergie in einen "thermischen" und "elektrischen" Anteil aufgeteilt - "thermisch" meint hier die Nutzung von Solarenergie über Sonnenkollektoren zur Wärmebereitstellung, während "elektrisch" die direkte Stromerzeugung mittels Photovoltaik (PV) bezeichnet.

Die Primärenergieanteile der so aufgeteilten REQ zeigt die folgende Tabelle.

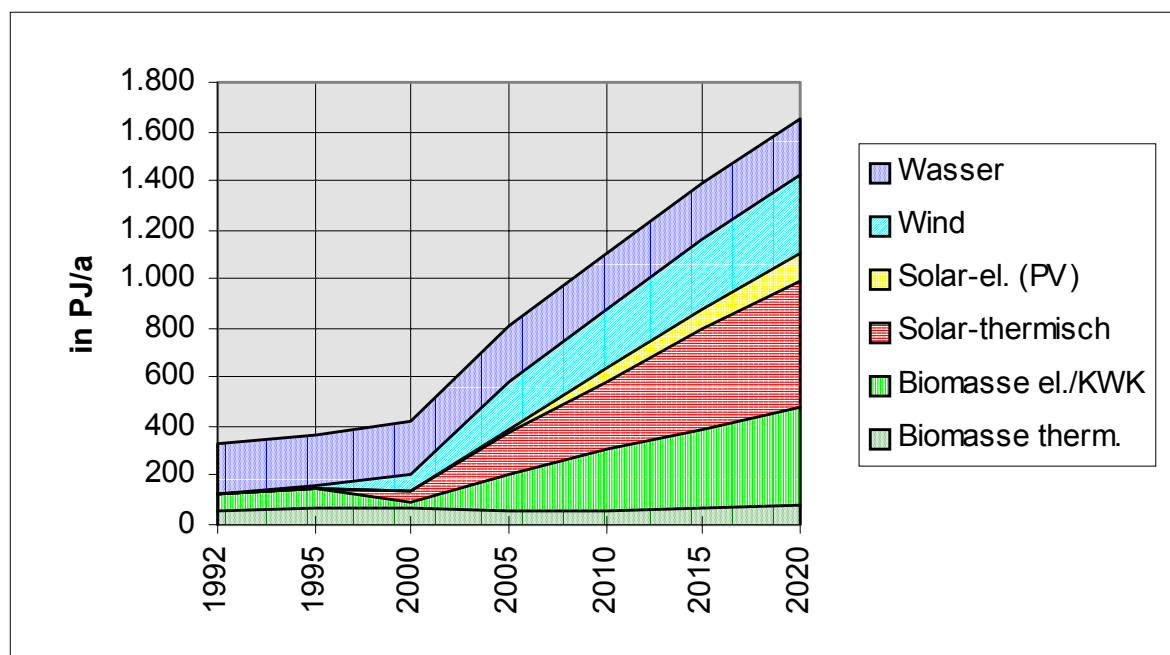
Tab. 0.14: Beitrag regenerativer Energien zur Primärenergie im Energiewende-Szenario(in PJ)

	1992	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Biomasse therm.	53	69	70	59	54	64	75
Biomasse el./KWK	71	73	21	149	253	327	398
Solar-thermisch	0	0	40	163	279	402	515
Solar-el. (PV)	0	0	3	17	47	86	120
Wind	4	18	65	194	243	285	320
Wasser	206	203	218	231	232	232	227
<b>Summe REQ</b>	<b>334</b>	<b>363</b>	<b>418</b>	<b>812</b>	<b>1.109</b>	<b>1.395</b>	<b>1.656</b>
<b>Anteil an PE gesamt</b>	<b>2,4%</b>	<b>2,6%</b>	<b>3,5%</b>	<b>6,8%</b>	<b>10,4%</b>	<b>14,2%</b>	<b>18,2%</b>

Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

Die oben genannten Anteile zeigt die folgende Abbildung nochmals in grafischer Übersicht.

Abb. 0.3: Beitrag regenerativer Energien zur Primärenergie im Energiewende-Szenario



Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

Erstes und wichtigstes Ergebnis aus der näheren Betrachtung der erneuerbare Energiequellen ist, daß die Entwicklungsdynamik erst nennenswert nach dem Jahr 2000 beginnt - vorher wächst nur Wind in nennenswertem Ausmaß zu.

Den größten Anteil bei den REQ im Jahr 2020 hat - vielleicht überraschend - die **thermische** Nutzung der Solarenergie (515 PJ), gefolgt von Biomasse in zur Stromerzeugung bzw. zur KWK (rd. 400 PJ).

Diese beiden REQ-Nutzungsformen bilden zusammen **mehr als die Hälfte** des gesamten REQ-Primärenergieanteils und stellen **eindeutige Schwerpunkte** der zukünftigen Energieversorgung dar.

Demgegenüber liegen Wind (320 PJ) und Wasserkraft (rd. 230 PJ) zusammen in der Größenordnung der solarthermischen Energienutzung, Photovoltaik (120 PJ) und direkte thermische Biomassenutzung (75 PJ) spielen eine vergleichsweise geringe Rolle.

**Die Zukunft der regenerativen Energien im Energiewende-Szenario wird somit vor allem durch Solarthermie und Biomasse zur Strom- und KWK-Nutzung gebildet.**

Beide Nutzungsformen sind schon heute weit entwickelt und lassen sich dezentral in Einzelanlagen bzw. im Rahmen von Nah- und Fernwärmenetzen einsetzen. Entscheidend für die Umsetzung der großen Nutzungspotentiale sind

- im Bereich Solarwärme vor allem die Korrektur der Preise konkurrierender fossiler Energien durch eine Energiesteuer
- im Bereich Biomasse zur Strom- und KWK-Nutzung eine ausreichende Vergütung für bereitgestellten Strom sowie die Markteinführung dezentraler Vergasungstechnologien, die technisch bereits demonstriert sind.
- Bei Wind und Wasserkraft sind ähnliche Voraussetzungen erforderlich (vgl. zu den Instrumenten näher Kap. 7.1).

Die Rolle der einzelnen REQ am gesamten Primärenergiebedarf im Energiewende-Szenario unterscheidet sich damit deutlich von der Schwerpunktsetzung und dem öffentlichen Interesse in der heutigen Energiediskussion, in der vor allem Wind und Photovoltaik mittelfristig eine große Rolle zugesprochen wird.

Das Energiewende-Szenario zeigt demgegenüber, daß gerade die relativ unspektakuläre Solarthermie sowie die oft verkannte Biomasse die Hauptelemente einer mittelfristigen REQ-Strategie sind - neben Wind und Wasserkraft.

Die Bedeutung der Photovoltaik liegt dagegen in ihrer **längerfristig** möglichen Steigerung. Während es selbst bis zum Jahr 2020 nur in relativ geringem Maße gelingt, Solarstrom in das deutsche Energiesystem zu integrieren, ist über den Betrachtungszeitraum des Szenarios hinaus die PV-Technik die einzige REQ-Option, die weitere Zuwächse ohne kritische ökologische Schranken bieten kann.

Die Solarthermie kann zwar bis ca. 2030 noch leicht wachsen, indem weitere Anteile des Raumwärmebedarfs und der Nah- und Fernwärme mit ihr gedeckt werden. Eine wirklich große weitere Steigerung wäre aber nur möglich, wenn eine vollständig neue Solararchitektur in breiten Teilen des Gebäudebestands sowie bei praktisch allen Neubauten durchgesetzt würde und in der Industrie Herstellungs- und Fertigungsprozesse mit geringem Temperaturbedarf deutlich zunähmen.

Bei der Biomasse ist mit dem Energiewende-Szenario die Grenze der ausnutzbaren Reststoffe erreicht. Eine Steigerung wäre hier nur über "Energieplantagen" möglich, deren ökologischen Folgen und Kosten noch weitgehend unbekannt sind und die in direkter Konkurrenz zu einer stärker ökologisch orientierten Land- und Stoffwirtschaft stünden.

Die Potentiale ökologisch verträglicher Wasser- und Windkraftnutzung sind im Energiewende-Szenario ebenfalls weitgehend erreicht, eine nennenswerte Steigerung wäre hier nur über offshore-Anlagen möglich, deren Probleme noch nicht näher bekannt sind.

Somit bleibt - spekulative Entwicklungen im Bereich z.B. der Geothermie ausgenommen - nach dem hier betrachteten Szenariozeitraum nur die elektrische Solarenergienutzung über PV-Anlagen als weiter steigerungsfähige "heimische" REQ-Option. Die Rolle der PV ist im Energiewende-Szenario somit zwar vergleichsweise klein, ihre Bedeutung ist aber groß:

Ohne ihren gezielten Ausbau ist ein auch längerfristig tragfähiges Energiesystem in Deutschland nicht denkbar. Die Sonnenenergiewirtschaft **beginnt zwar** mit Biomasse und Solarthermie, ihre **Perspektive** liegt jedoch in der PV-Technik.

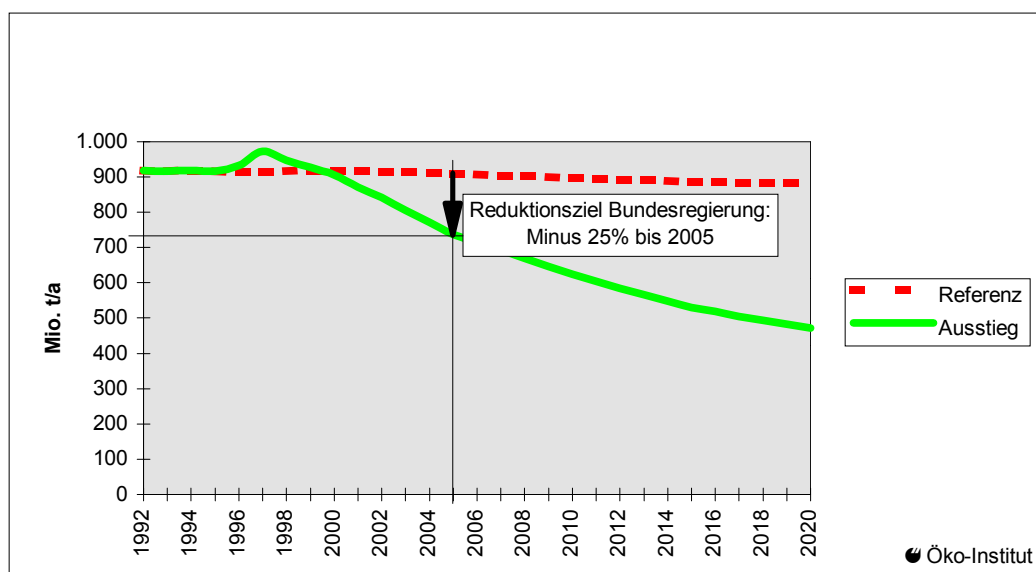
Im Energiewende-Szenario muß daher der Einstieg in große Fertigungskapazitäten und wirkliche Märkte für PV erfolgen - ohne eine solche Strategie kann weder in Deutschland noch in anderen (vor allem südlichen) Ländern eine wirklich nachhaltige Energiewirtschaft geschaffen werden.

## 6.2 CO<sub>2</sub>-Emissionen

Eine der wichtigsten Fragen bei der Beurteilung verschiedener Energieszenarien für eine entwickelte Industrienation wie Deutschland ist, ob diese Pfade in der Lage sind, die zur Stabilisierung des globalen Klimas erforderlichen Reduktionen klimaschädigender Gase, allen voran das CO<sub>2</sub>, zu erreichen (vgl. Kasten auf Seite 74). Wie in Kapitel 2.2.4 bereits dargestellt wurde, verfehlt das Referenz-Szenario die für die Jahre 2005 und 2020 gesetzten Reduktionsziele bei weitem. Dabei ist besonders problematisch, daß die Emissionen nicht nur deutlich oberhalb der Zielwerte bleiben, vielmehr werden die Emissionen trotz eines unveränderten Einsatzes von Atomkraftwerken annähernd konstant bleiben. Dies bedeutet, daß bei der von Prognos unterstellten Energiepolitik auch über das Jahr 2020 hinaus keine Aussichten für eine nennenswerte Emissionsreduktion bestehen.

Wie Abb. 6.4 zeigt, können dagegen die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Energiewende-Szenario trotz des kurzfristigen Verzichts auf Atomkraftwerke entsprechend den Reduktionsvorgaben gesenkt werden. Deutlich zu erkennen ist die vorübergehende Zunahme der Emissionen in den Jahren nach dem Sofortausstieg. Durch den Umbau des Kraftwerksparks und die ersten Einsparerfolge kann der CO<sub>2</sub>-Ausstoß schon vier Jahre nach dem Ausstieg wieder unter die Referenzentwicklung gesenkt werden. Bis zum Jahr 2005 wird das von der Bundesregierung gesetzte CO<sub>2</sub>-Reduktionsziel erreicht. Die kumulierten Emissionen der Jahre 1990 bis 2005 liegen im Energiewende-Szenario um ca. 3 % unter der Referenzentwicklung.

Abb. 0.4: CO<sub>2</sub>-Emissionen im Referenz- und Energiewende-Szenario (Ausstieg)



Quelle: Prognos 1995, Berechnungen des Öko-Instituts

Auch in den Jahren nach 2005 ist eine weitere Emissionsreduktion möglich. Durch weitere Energieeinsparungen, aber auch den zunehmenden Ausbau der erneuerbaren Energiequellen ist es möglich, den CO<sub>2</sub>-Ausstoß bis zum Jahr 2020 zu halbieren. Damit werden durch das Energiewende-Szenario die bis zum Jahr 2020 erforderlichen Emissionsreduktionen erreicht.

Zur langfristigen Stabilisierung des Klimas ist es erforderlich, die Emissionen der Treibhausgase in den Industrienationen bis zur Mitte des kommenden Jahrhunderts um insgesamt 80 % gegenüber dem Stand von 1990 zu reduzieren. Dies ist nur möglich, wenn es gelingt, den Anteil erneuerbarer Energiequellen an der Primärenergiebilanz weiter deutlich zu erhöhen.

### CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele

Im Jahr 1990 legte die Enquete-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" des 11. Deutschen Bundestages ihren Bericht zum anthropogenen Treibhauseffekt vor. Darin wurde als Ziel weltweiter Klimaschutzpolitik formuliert, die globalen Temperaturen auf ein Niveau von 2 K oberhalb der Durchschnittstemperatur in vorindustrieller Zeit zu stabilisieren.

Hierzu ist es notwendig, die weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen bis zum Jahr 2020 auf die Hälfte des derzeitigen Niveaus zurückzuführen. Für die wirtschaftlich entwickelten Länder folgt hieraus jedoch eine Verpflichtung zur noch weitergehenden Verringerung ihrer Emissionen. Denn das legitime Interesse der Menschen in den heute noch unterentwickelten Ländern an einer Angleichung ihrer Lebensbedingungen wird auch in Zukunft zu einer deutlichen Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Emissionen dieser Länder führen.

Die Enquete-Kommission hat für die alten Bundesländer die folgenden Reduktionsziele empfohlen (bezogen auf das Basisjahr 1987):

bis 2005:	minus 30 %
bis 2020:	minus 50 %
bis 2050:	minus 80 %

Die Bundesregierung hat auf der Basis der Empfehlungen der Enquete-Kommission und der Interministeriellen Arbeitsgruppe "CO<sub>2</sub>-Reduktion" im Jahr 1990 beschlossen, die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen in den alten Bundesländern bis zum Jahr 2005 um 25 bis 30 % gegenüber dem Stand von 1987 zu senken. Für die neuen Bundesländer wurde eine deutlich höhere prozentuale Minderung angestrebt.

Auf der ersten Vertragsstaatenkonferenz der Klimarahmenkonvention in Berlin hat der Bundeskanzler das Reduktionsziel neu formuliert: Für Gesamtdeutschland sollen nun bis zum Jahr 2005 die Emissionen gegenüber dem international üblichen Basisjahr 1990 um 25 % reduziert werden. Dies bedeutet einerseits eine Konkretisierung des Ziels, da nunmehr eine klare Zielvorgabe besteht, die auch für die neuen Bundesländer gilt. Bezogen auf Gesamtdeutschland stellt die Umstellung auf das neue Basisjahr auch keine Abschwächung des Ziels dar, da die Emissionen zwischen 1987 und 1990 bereits um ca. 5 % gefallen sind.

Andererseits bietet die neue gesamtdeutsche Betrachtung die Möglichkeit, zunehmende Emissionen im Westen Deutschlands mit dem Rückgang im Osten aufgrund des Einbruchs der dortigen Wirtschaft zu kompensieren. So lagen die CO<sub>2</sub>-Emissionen in den alten Bundesländern im Jahr 1994 um 3 % über dem Wert von 1990, in den neuen Bundesländer jedoch um 43 % unter dem neuen Basiswert. In der Summe ergibt sich trotz des Zuwachses im Westen für Gesamtdeutschland eine Reduktion um 11 %. Bei dieser Betrachtung ist zwar zu berücksichtigen, daß ein Teil der im Osten konsumierten Güter aus dem Westen stammt und dort zur Emissionsbilanz beiträgt. Dennoch erweckt diese rechnerische Kompensation der Emissionswerte unzulässigerweise den Eindruck, als wäre der deutsche Energiesektor auf dem Weg zur CO<sub>2</sub>-Reduktion. Daß dies nicht der Fall ist, zeigen die Ergebnisse des Referenz-Szenarios von Prognos.

### 6.3 Gesamtwirtschaftliche Auswirkungen des Atomausstiegs

Der Ausstieg aus der Atomenergie ist kurzfristig möglich (vgl. Abschnitt 3). Versorgungsengpässe sind dabei zu keiner Zeit zu fürchten. Allerdings muß zu diesem Zweck kurzfristig der Beitrag fossiler Kraftwerke erhöht werden. Kurzfristige ist deshalb bei einem Sofortausstieg durchaus mit höheren CO<sub>2</sub>-Emissionen zu rechnen. Um das Klimaziel<sup>28</sup> dennoch nicht zu verfehlen, muß gleichzeitig zum Atomausstieg die Trendwende in der Energiewirtschaft in Angriff genommen werden.

Vielfach sind Investitionen für Energieeinsparungen günstiger als die Ausgaben für Endenergieträger. Mit dem Ausstieg müssen daher konsequent alle Einsparpotentiale durch effizientere Technologien und rationelle Energienutzung (insbesondere KWK) erschlossen werden. Außerdem muß der Beitrag der regenerativen Energieträger ausgeweitet werden.

Eine solche Strategie bleibt nicht ohne Folgen für die Ökonomie des Landes. Auf der einen Seite entsteht zusätzliche Investitionsnachfrage nach Einspartechnologien sowie rationeller und regenerativer Energietechnologie, auf der anderen Seite geht in Folge dieser Investitionen die Nachfrage nach Endenergieträgern und Brennstoffen zurück.

Konsequenz dieser Entwicklungen ist ein struktureller Wandel, bei dem die Bedeutung der traditionellen, fossilen Energiewirtschaft zugunsten einer Ausweitung der Investitionsgütersektoren zurückgeht. Vermittelt über die unmittelbaren Veränderungen der Nachfragestruktur ergeben sich hieraus auch deutliche Verschiebungen am Arbeitsmarkt.

Im Folgenden werden deshalb zunächst die ausstiegs- und wendebedingten Veränderungen der Investitionstätigkeit und Energienachfrage dargestellt. Im Anschluß daran werden die Auswirkungen dieser Strukturveränderungen auf den Arbeitsmarkt betrachtet.

#### 6.3.1 Veränderung der Investitionsnachfrage

Grundlage für die Berechnung der gesamtwirtschaftlichen Effekte ist zunächst folgende Überlegung:

Eine Reduktion des Energieverbrauchs senkt - konstante Preise vorausgesetzt - die Energiekosten der Endverbraucher. Wird dieser Betrag vollständig für Einsparinvestitionen verausgabt, so sind die Endverbraucher bei gleicher Energiedienstleistungsnachfrage letztlich nicht schlechter gestellt.<sup>29</sup>

Nachstehend werden daher die Ausgaben der Endenergieverbrauchsbereiche für Energieträger in beiden Szenarien verglichen. Die Differenz der Ausgaben für Endenergieträger steht diesen Überlegungen zufolge für Einsparinvestitionen der Verbrauchssektoren zur Verfügung.

---

<sup>28</sup> Minus 25 Prozent bis 2005 und minus 50 Prozent bis 2050 auf der Basis der Emissionen von 1990.

<sup>29</sup> Von Finanzierungsfragen kann hier insoweit abstrahiert werden, als unterstellt wird, daß zukünftige Energiekosteneinsparungen vollständig zur Finanzierung von zeitlich davor liegenden Einsparinvestitionen herangezogen werden. Die Finanzierungskosten selbst werden dabei als Bestandteil der Investitionskosten betrachtet.



Grundlage hierfür ist die Entwicklung des Endenergiebedarfs beider Szenarien sowie die sektorspezifische Entwicklung der Endenergiepreise, die in der nachstehenden Tabelle dokumentiert ist.

Tab. 0.3: Entwicklung der Endenergie- und Brennstoffpreise

Reale Preise (Preisbasis 1991)	1995		jährliche Veränderung	2020	
	DM/GJ	DM/MWh		DM/GJ	DM/MWh
Endenergiepreise für Haushalte					
Kohle	20,73	74,64	0,1%	21,12	76,05
Öl	12,84	46,23	0,9%	15,99	57,55
Gas	17,42	62,73	0,6%	20,31	73,12
Biomasse	4,49	16,18	0,3%	4,80	17,27
Fernwärme	20,91	75,27	0,3%	22,34	80,44
Strom	80,19	288,69	0,4%	88,07	317,06
Endenergiepreise für Kleinverbrauch					
Kohle	11,62	41,83	0,3%	12,48	44,94
Öl	10,93	39,36	0,9%	13,81	49,73
Gas	12,42	44,71	0,8%	15,04	54,13
Biomasse	3,81	13,72	0,3%	4,13	14,86
Fernwärme	14,90	53,65	0,4%	16,54	59,55
Strom	57,10	205,54	0,4%	62,95	226,61
Endenergiepreise für Industrie					
Kohle	2,50	9,01	1,7%	3,84	13,83
Heizöl leicht	9,03	32,49	1,0%	11,64	41,91
Heizöl schwer	4,32	15,57	1,6%	6,37	22,94
Gas	7,42	26,70	1,1%	9,76	35,14
Biomasse	3,13	11,26	0,4%	3,46	12,45
Fernwärme	8,90	32,04	0,8%	10,74	38,66
Strom	34,00	122,40	0,4%	37,82	136,16
Brennstoffpreise für Kraftwerke					
Braunkohle	2,38	8,56	1,3%	3,26	11,75
Steinkohle	2,50	9,01	1,7%	3,84	13,83
Heizöl leicht	6,32	22,75	1,0%	8,15	29,34
Heizöl schwer	3,03	10,90	1,6%	4,46	16,06
Gas	6,26	22,52	1,5%	8,97	32,28
Biomasse	3,13	11,26	0,4%	3,46	12,45
Uran (Primärenergieäquivalent)	0,95	3,42	0,1%	0,98	3,53

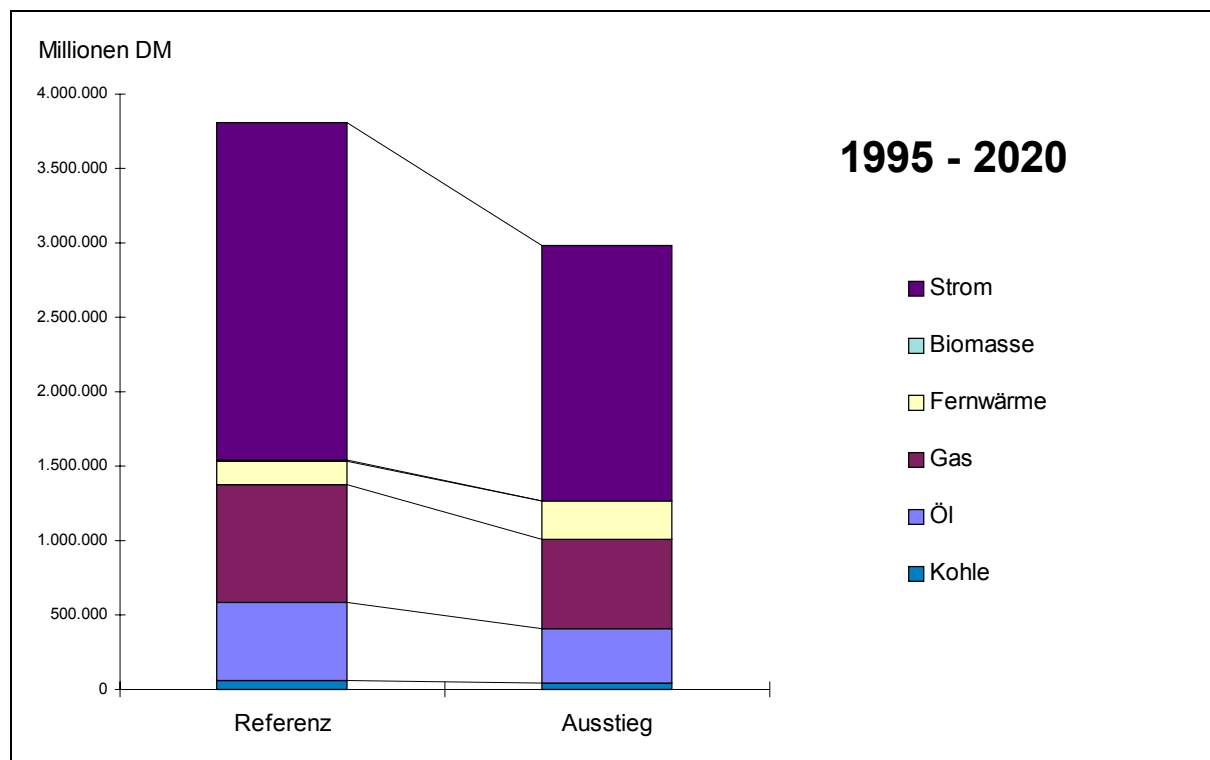
Quelle: Prognos 1995, Berechnungen des Öko-Instituts

Da hier die Ausgabendifferenz ermittelt werden soll, muß aus methodischen Gründen für beide Szenarien die Preisentwicklung des Referenz-Szenarios angewendet werden. Tatsächlich werden derartige Veränderungen zumindest zum Teil auch durch eine ökologischen Steuerreform, bei der insbesondere die Energiepreise ansteigen, erzielt. Eine solche Strategie ist damit keinesfalls ausgeschlossen. Implizit wird damit hier jedoch unterstellt, daß das Steueraufkommen vollständig für Einsparinvestitionen verausgabt wird.

Im Energiewende-Szenario geht der Energiebedarf aller Endverbrauchsbereiche (Haushalte, Kleinverbrauch, Industrie, Verkehr) gegenüber der Referenzentwicklung bis zum Jahr 2020 insgesamt um fast 30% zurück. Bedingt durch die sich parallel dazu verändernde Struktur des Endenergiebedarfs geht die Nachfrage allerdings deutlich stärker um mehr als 40 Prozent zurück. Hier wirkt sich vor allem die massive Einsparung von Strom durch effizientere Technik und Substitution der strombasierte Wärmeanwendungen aus. Akkumuliert über den gesamten Szenariozeitraum von 1995 bis 2020

können im Energiewende-Szenario 22% der Endenergieausgaben gegenüber der Referenzentwicklung eingespart werden. Die folgende Abbildung zeigt die akkumulierten Ausgaben beider Szenarien im Vergleich.

Abb. 0.5: Akkumulierte Endenergieausgaben im Referenz- und im Energiewende-Szenario



Akkumuliert über den gesamten Zeitraum gehen die Endenergieausgaben um fast 825 Mrd. DM zurück. Bezogen auf ein Jahr stehen damit also durchschnittlich knapp 33 Mrd. DM für Einsparinvestitionen der Endenergieverbrauchssektoren zur Verfügung.

Gleichzeitig zu den Veränderungen in Endnachfragesektoren wird im Energiewende-Szenario der Umbau des Kraftwerkssektors für Strom und Fernwärme vorangetrieben. Neben dem Ausstieg aus der Atomenergie steht hier vor allem der Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung sowie der Nutzung regenerativer Energiequellen im Vordergrund. Als Folge dieser Umgestaltung ergeben sich zwangsläufig Verschiebungen in der Nachfrage nach Kraftwerksinvestitionen und nach Brennstoffen.

Für die Berechnungen der Auswirkungen werden basierend auf der Entwicklung des Kraftwerksparks die Investitionen für Kraftwerkstechnologien sowie die resultierenden Brennstoffnachfrage verglichen. Folgende spezifische Investitionskosten wurden dabei zu Grunde gelegt.<sup>30</sup>

<sup>30</sup> Die Gesamtinvestitionen wurden dabei für alle Kraftwerkstechnologien linear einen Zeitraum von 30 Jahren (Lebensdauer der Kraftwerke) verteilt.

Tab. 0.4: Spezifische Investitionskosten für Kraftwerkstechnologien

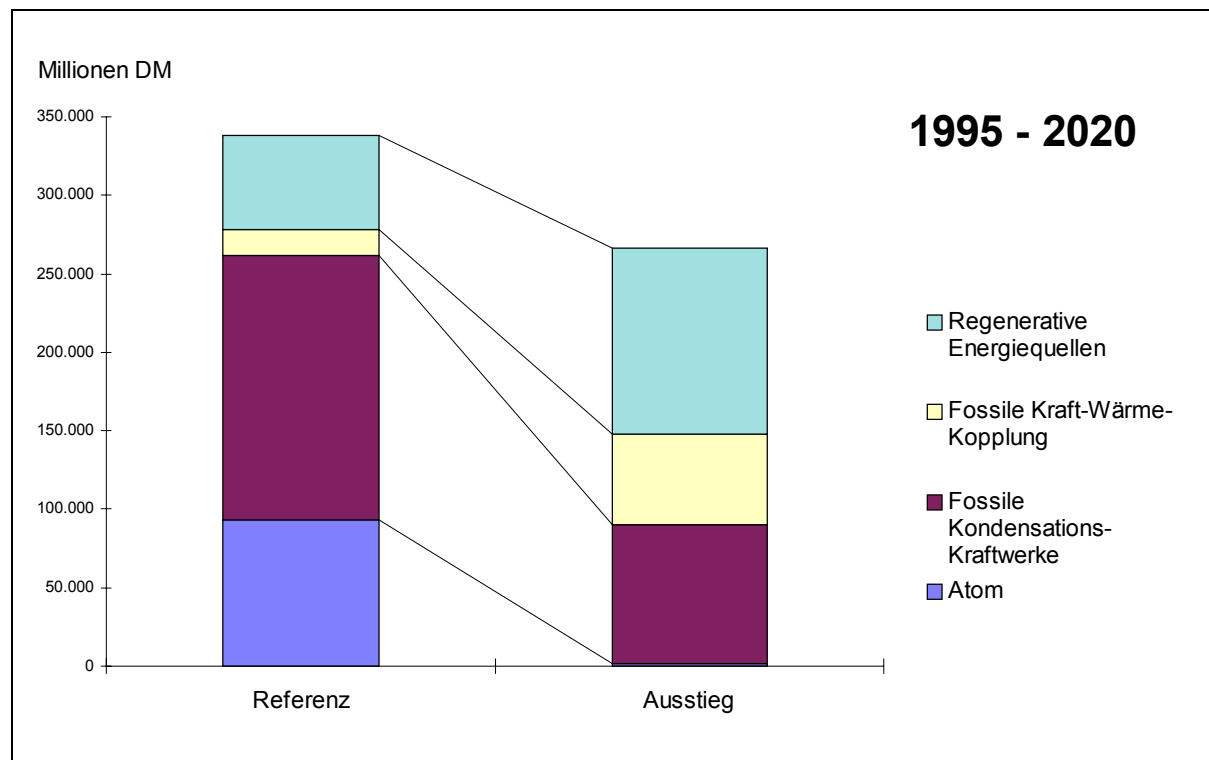
in DM/kW (Reale Preise, Preisbasis 1991)	Kondensations- kraftwerke	Kraft-Wärme- Kopplung *)	Regenerative Energiequellen
Atom	5.000		
Braunkohle	2.350	4.125	
Steinkohle	2.250	3.750	
Heizöl leicht	1.500	3.000	
Heizöl schwer	1.600	3.000	
Gas	1.250	1.875	
Gas-GuD	1.250		
Gas BHKW		3.375	
Biomasse (BHKW/GuD)		6.000	2.000
Photovoltaik			7.750
Wasser			6.250
Wind			2.000

\*) Einschließlich Investitionen für Wärmenetze

Quelle: Öko-Institut 1994 (GEMIS)

Bedingt durch die deutliche Reduktion des Strombedarfs im Energiewende-Szenario können die Kraftwerksinvestitionen insgesamt um gut 20% reduziert werden. Trotz der im Energiewende-Szenario deutlich höheren Anteile relativ teurer Kraftwerkstechnologien (regenerative Energiequellen, Kraft-Wärme-Kopplung) wird der stromnachfragebedingte Rückgang nach Kraftwerkstechnologien hierdurch also nicht überkompensiert.

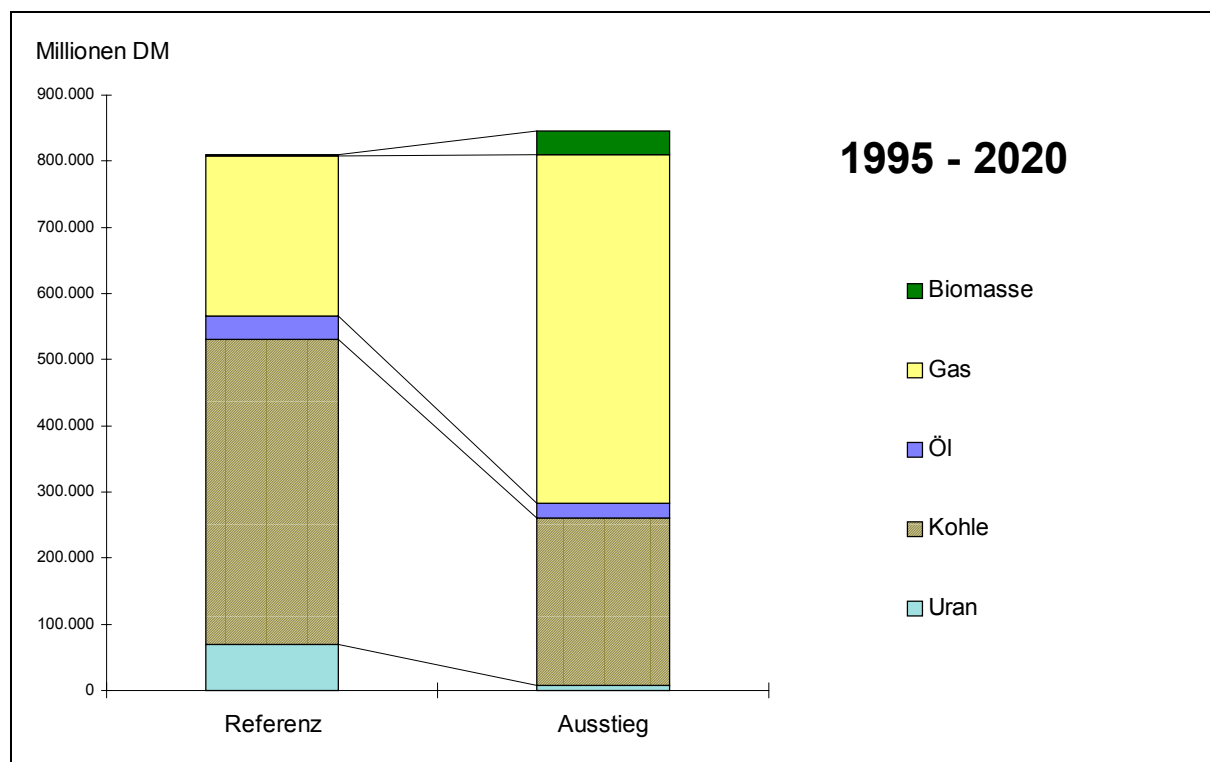
Abb. 0.6: Akkumulierte Kraftwerksinvestitionen im Referenz- und im Energiewende-Szenario



Zusammengenommen können die Investitionsaufwendungen für den Kraftwerkspark um gut 72 Mrd. DM reduziert werden. Dies entspricht einer jährlichen Einsparung von durchschnittlich fast 2,9 Mrd.

DM. Ein Teil dieser Einsparungen muß allerdings für die im Energiewende-Szenario höheren Brennstoffaufwendungen verwendet werden. Denn anders als bei den Investitionen wird der Rückgang des Brennstoffbedarfs durch die Strukturverschiebung zu relativ teureren Brennstoffen (insbesondere Gas, statt Kohle und Uran) überkompensiert, so daß die Brennstoffnachfrage der Kraftwerke im Energiewende-Szenario insgesamt um etwa 4% gegenüber der Referenzentwicklung ansteigt.

Abb. 0.7: Akkumulierte Brennstoffausgaben der Kraftwerke im Referenz- und im Energiewende-Szenario



Akkumuliert über den gesamten Betrachtungszeitraum müssen also im Ausstiegs- fast 35 Mrd. DM mehr für Brennstoffe aufgewendet werden als im Referenz-Szenario. Dies entspricht einen durchschnittlichen jährlichen Mehraufwand von rund 1,4 Mrd. DM und wird damit also voll durch die geringeren Investitionskosten abgedeckt. Die verbleibenden Einsparungen (Investitions- minus Brennstoffdifferenz) stehen damit für zusätzliche Einsparinvestitionen seitens des Kraftwerkssektors bereit.

Alles in allem können also im Energiewende-Szenario Einsparinvestitionen im Umfang von mehr als 860 Mrd. DM finanziert werden. Dies entspricht einem durchschnittlichen jährlichen Budget von 34,5 Mrd. DM, das für die Finanzierung von Wärmedämmung, effizienteren Motoren, Energiesparlampen, hocheffizienten Kühlschränke etc. verwendet werden kann, ohne daß seitens der Endenergieverbrauchsgebiete zusätzliche Aufwendungen erforderlich sind.

### 6.3.2 Auswirkungen des Atomausstiegs auf den Arbeitsmarkt

Nachfrageverschiebungen, wie sie im Abschnitt zuvor beschrieben wurden, bleiben nicht ohne Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt. Dies hat vor allem zwei Gründe:

- Anstelle des Imports von Energieträgern (insbesondere Öl und Gas) werden verstärkt inländische Produkte und Dienstleistungen wie z.B. Wärmedämmung, effizientere Motoren, KWK-Anlagen etc. nachgefragt.
- Ein Teil der Nachfrage wird von kapitalintensiven Wirtschaftssektoren wie 'Elektrizität, Dampf, Warmwasser' oder 'Gas' zu beschäftigungsintensiven Sektoren wie z.B. die Bauindustrie oder 'Stahl- und Maschinenbau' verlagert.

Bereits hier wird deutlich, daß es eine Energiewende deutliche Veränderungen in der Wirtschaftsstruktur hervorrufen wird. Es stellt sich die Frage, welche Auswirkungen diese Strukturverschiebungen auf die Beschäftigung insgesamt sowie auf die Beschäftigung in den einzelnen Sektoren haben.

Im folgenden werden daher die nachfragebedingten Beschäftigungswirkungen einer Energiewende mittels eines Input-Output-Modells analysiert.<sup>31</sup> Dabei werden neben den direkten auch die indirekten vorleistungsbedingten Beschäftigungseffekte erfaßt: Verändert sich beispielsweise die direkte Nachfrage nach Strom, so verändert sich indirekt auch die Nachfrage nach Vorleistungen, in diesem Beispiel also die Nachfrage nach Brennstoffen wie Uran, Kohle, Gas und Öl. Damit verändert sich also nicht nur die Beschäftigung in der Stromwirtschaft selbst sondern auch in den Sektoren, die die Vorleistungen bereitstellen. Durch die Input-Output-Analyse werden beide Effekte simultan erfaßt und abgebildet.<sup>32</sup>

Grundlage für die nachfolgende Berechnung der Beschäftigungseffekte ist dabei zunächst folgende Überlegung: Die verminderten Ausgaben der Verbrauchsbereiche für Endenergie werden vollständig für Einsparinvestitionen verausgabt. Insgesamt wird also zunächst die Nachfrage nur umgeschichtet, so daß keine zusätzliche Finanzierung von Einsparinvestitionen notwendig sind.

Ausgangspunkt für die Input-Output-Analyse ist daher auf der einen Seite die negative Differenznachfrage zwischen dem Referenz- und dem Energiewende-Szenario nach Endenergieträgern, Brennstoffen und konventionellen Kraftwerksinvestitionen, der auf der anderen Seite eine positive Differenznachfrage nach Einspar- und Effizienztechnologien bzw. regenerativen Energiequellen gegenübersteht.

Das verwendete offene, statische Input-Output-Mengenmodell basiert auf den ersten gesamtdeutschen Input-Output-Tabellen des Statistischen Bundesamtes (1995). In der folgenden Tabelle sind die sektoral differenzierten Ergebnisse der Berechnungen für das Jahr 2020 dargestellt.

Tab. 6-4: Beschäftigungswirkungen des Atomausstiegs im Jahre 2020

---

<sup>31</sup> Zur Methodik und den Möglichkeiten und Grenzen der Input-Output-Analyse siehe z.B. Holub/Schnabl (1994), Fleissner (1993) sowie die dort angegebene Fach- und Lehrbuchliteratur.

<sup>32</sup> Ausführlicher hinsichtlich methodischer Fragen und der Erläuterung der ökonomischen Zusammenhänge: Öko-Institut 1996.

Beschäftigte	Endenergie- verbrauchs- sektoren	Kraft- werks- sektor	Insge- samt
1 Erzeugung von Produkten der Land- und Forstwirtschaft, Fischerei	3.106	18.666	21.800
2 Erzeugung von Energie, Gewinnung von Wasser und Bergbauerzeugnissen <i>Elektrizität, Dampf, Warmwasser</i>	-237.571 -126.080	-32.393 -728	-270.000 -126.800
<i>Gas</i>	-23.662	9.252	-14.400
<i>Kohle, Erzeugnisse des Kohlenbergbaus</i>	-83.695	-42.125	-125.800
3 Herstellung von chemischen und Mineralöl- erzeugnissen, Gewinnung von Steinen und Erden <i>Chemische Erzeugnisse, Spalt- u. Brutstoffe</i>	19.122 2.392	-2.438 -3.237	16.700 -800
<i>Mineralölerzeugnisse</i>	-7.265	-269	-7.500
4 Erzeugung und Bearbeitung von Eisen, Stahl und NE-Metallen	19.579	1.290	20.900
5 Herstellung von Stahl- und Maschinenbau- erzeugnissen, ADV-Einrichtungen, Fahrzeugen	93.288	4.698	98.000
6 Herstellung von elektrotechnischen, fein- mechanischen Erzeugnissen, EBM-Waren usw.	46.036	4.090	50.100
7 Herstellung von Holz-, Papier-, Lederwaren, Textilien, Bekleidung	18.403	1.147	19.600
8 Herstellung von Nahrungs- mitteln, Getränken, Tabakwaren	298	358	700
9 Bau	194.907	10.685	205.600
10 Leistungen des Handels, Verkehrs, Postdienstes u.ä.	31.697	2.662	34.400
11 Übrige marktbestimmte Dienstleistungen	8.204	4.043	12.200
12 Nicht marktbestimmte Dienstleistungen	-2.204	126	-2.100
Insgesamt	194.865	12.934	207.800
Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts			

Der Ausstieg aus der Atomenergie in Verbindung mit einer Wende in der Energiepolitik wirkt also insgesamt nicht negativ auf die Beschäftigung.<sup>33</sup> Im Gegenteil - es werden sogar bis zum Jahr 2020 gut 200.000 zusätzliche Arbeitsplätze geschaffen.<sup>34</sup>

Dennoch sind mit dem netto positiven Gesamteffekt durchaus beträchtliche Arbeitsplatzverluste in einzelnen Sektoren - insbesondere bei der Strom- und Fernwärmeerzeugung sowie im Kohlebergbau - verbunden. Allerdings sind diese nur zum Teil der Energiewende zurechenbar (Öko-Institut 1996). Denn bereits bei konstanter Produktivität würde in der Referenzentwicklung die Beschäftigung im bundesdeutschen Kohlesektor von 265.000 im Jahre 1991 auf etwa 120.000 im Jahre 2020 zurückgehen. Bei einer Produktivitätssteigerung entsprechend dem Durchschnitt der Jahre 1974 bis 1993 um jährlich 1,62% (Wuppertal Institut 1995) würde die Beschäftigung auf weniger als 80.000 zurückgehen. Ursache hierfür ist vor allem der Anstieg der Steinkohleimportquote: Sie steigt in der Referenzentwicklung von 19% im Jahre 1991 auf 66% im Jahr 2020 (Prognos 1995). Da jedoch weder

<sup>33</sup> Die Bilanz der Beschäftigungseffekte im Jahr 2000 und 2010 zeigt ebenfalls eine leicht (+3.900) bzw. deutlich (+86.500) höhere Beschäftigung im Energiewende-Szenario. Da allerdings diesen Berechnungen kein explizites Investitionsmodell zugrundeliegt, können diese Zahlen nicht als Beschäftigungsentwicklung interpretiert werden. Denn tatsächlich werden zunächst sogar die positiven, durch Einsparinvestitionen hervorgerufenen Beschäftigungseffekte, die erst nach Umsetzung der Investitionen wirksam werdenden negativen Effekte der Energieeinsparung, deutlich überwiegen.

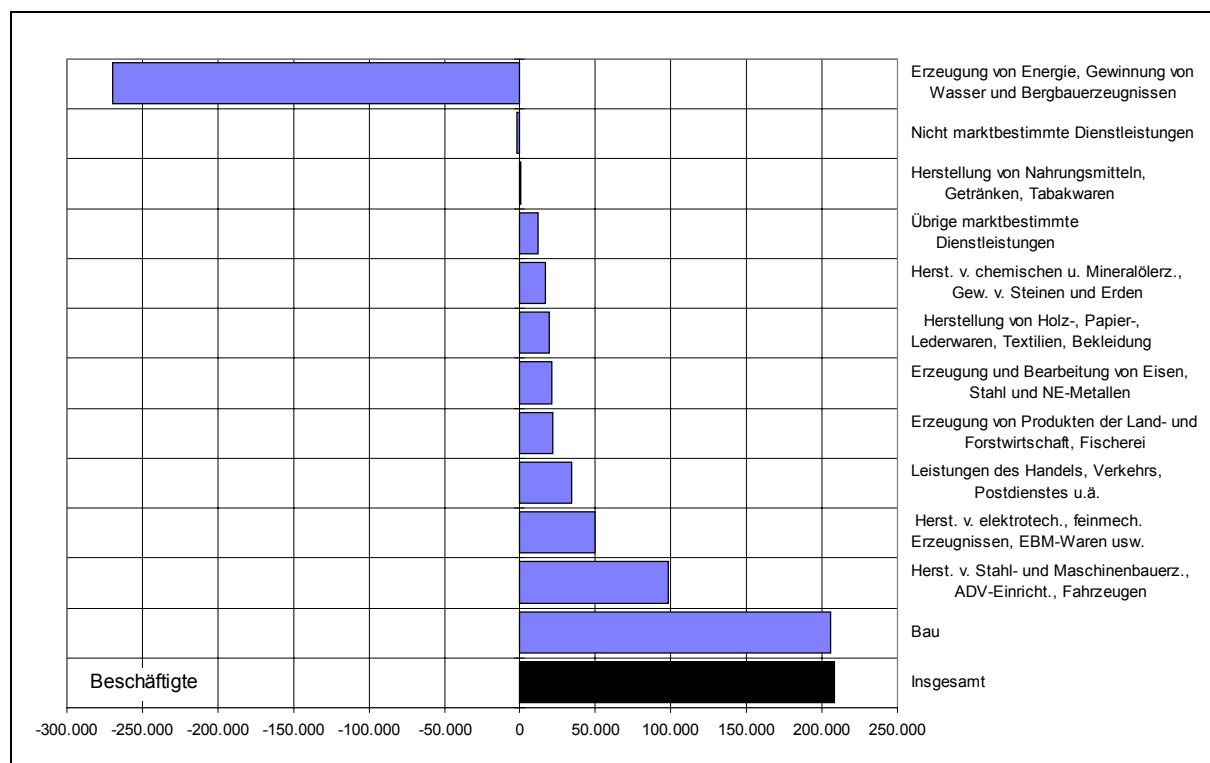
<sup>34</sup> Aufwendungen für Einsparinvestitionen, die über die insgesamt eingesparten Energiekosten hinausgehen wirken, soweit sie durch die private Endnachfrage gegenfinanziert werden, leicht positiv auf die Beschäftigung, so daß hierdurch der gesamtwirtschaftlich positive Beschäftigungseffekt nicht konterkariert wird (vgl. auch Öko-Institut 1996).

die Entwicklung der Importquote noch die Produktivitätsentwicklung modellmäßig erfaßt werden, weisen die vorstehenden Berechnungen für die Kohlewirtschaft eine deutliche Überschätzung der negativen Effekte auf.

Auch in der Elektrizitäts- und Fernwärmewirtschaft dürften die negativen Effekte eher geringer ausfallen als hier berechnet. Der Grund hierfür ist die modellmäßig basierte Annahme, daß die Beschäftigung linear mit der Nachfrage zurückgeht. Für den Stromsektor dürfte dies allerdings kaum zutreffen. Denn durch die Energiewende geht zwar der Stromabsatz zurück, doch die Anzahl der Kunden sowie das Niederspannungsnetz bleiben weitgehend unverändert. Die Beschäftigung in den Abteilungen Abrechnung, Verwaltung, Netzwartung etc. wird damit kaum zurückgehen. Lediglich in den Kraftwerken selbst wird also die Beschäftigung weitgehend linear mit der Nachfrage zurückgehen. Hier jedoch arbeiten nur etwa 25% der Beschäftigten des Sektors Elektrizitätswirtschaft. Folglich wird die Beschäftigung bei rückläufiger Stromnachfrage deutlich unterproportional zurückgehen, so daß der negative Beschäftigungseffekt auch im Stromsektor methodisch bedingt überschätzt wurde.

Der netto positive Beschäftigungseffekte von 200.000 zusätzlichen Arbeitsplätzen im Jahre 2020 dürfte damit tatsächlich weitaus positiver ausfallen. In der folgenden Abbildung sind nochmals die sektoralen Beschäftigungswirkungen anschaulich dargestellt.

Abb. 6-4: Beschäftigungseffekte der Energiewende im Jahre 2020



Klarer Gewinner des Ausstiegs aus der Atomenergie und der Energiewende ist die Bauwirtschaft. Denn sowohl bei der wärme- und elektrotechnischen Sanierung von Gebäuden als auch beim Umbau des Angebotssektors (z.B. beim Ausbau der Fern- und Nahwärmenetze für KWK-Anlagen) werden Bauleistungen in hohem Umfang nachgefragt. Da außerdem die Vorleistungsnachfrage des Bausektor sehr stark regional und kaum durch Importe gedeckt wird und darüber hinaus die Beschäftigungsintensität vergleichsweise hoch ist, entstehen vor allem in der Bauindustrie zusätzliche Arbeitsplätze.

Weitere Sektoren, die von der Energiewende profitieren können sind der Sektor 'Stahl- und Maschinenbau' sowie 'Elektrotechnische Erzeugnisse'. Hier macht sich vor allem die Nachfrage nach Einspartechnologien wie hocheffiziente Antriebe, Kühlschränke, Beleuchtungssystem etc. sowie der Ausbau der Nutzung regenerativer Energiequellen bemerkbar.

Zunächst überraschend wirkt vielleicht der positive Beschäftigungseffekt auf die Landwirtschaft. Er ist vor allem auf den Ausbau der Biomassenutzung für die Wärme- und Stromerzeugung zurückzuführen.

Doch nicht nur mehr, auch sicherere Arbeitsplätze entstehen durch die veränderte Investitions- und Ausgabenstruktur<sup>35</sup>.

Denn durch den Ausstieg ...

<sup>35</sup> Vgl. "Nachhaltige Energiewirtschaft - Einstieg in die Arbeitswelt von Morgen", Öko-Institut, Freiburg, Darmstadt, Berlin, 1996. Dort wurden vor allem die qualitativen Wirkungen einer nachhaltigeren Energiewirtschaft analysiert.



- ... werden Technologien gefördert, für die international große Wachstumspotentiale existieren. Dies gilt sowohl für Einspar- und Effizienztechnologien wie auch für Technologien zur Nutzung regenerativer Energiequellen.
- ... wird die Nachfrage nach (fossilen) Ressourcen durch die Nachfrage nach Wissen und Know-how für Energieeinsparung ersetzt. Dies erfordert umfangreiche Analyse- und Planungsleistungen, die nur schwerlich durch Maschinen oder Importe ersetzt werden können. Insgesamt steigt also die Nachfrage nach unternehmensnahen Ingenieur- und Dienstleistungen (Energieberatung, -planung und -management, Contracting etc.).
- ... wird die dezentrale Nachfrage gestärkt. Sowohl Einsparpotential als auch regenerative Energiequellen können nur dezentral erschlossen werden. Dies eröffnet besondere Chancen für lokal ansässige Handwerksbetriebe und Unternehmen und fördert damit die Sicherung oder Schaffung regional angesiedelter Arbeitsplätze, die dem internationalen Wettbewerb in geringerem Umfang ausgesetzt sind.

Damit der Ausstieg aus Atomenergienutzung in Verbindung mit einer Wende in der Energiewirtschaft eröffnet also gleichzeitig die Chance für den Einstieg eine insgesamt zukunftsfähigere Wirtschafts- und Gesellschaftsstruktur.

## 7 Maßnahmen zur Umsetzung

Die Ergebnisse des Kapitels 6 haben gezeigt, daß eine neue Energiepolitik in Deutschland ohne die Risiken der Atomenergie, mit forciertem Ausbau von erneuerbaren Energiequellen und Kraft-Wärme-Kopplung sowie gezielter Erschließung der Einsparpotentiale nicht nur möglich, sondern auch in ihren Resultaten deutlich vorteilhafter als die Referenzentwicklung ist. Doch wie soll diese Energiewende eingeleitet werden, welche ersten Schritte sind hierfür notwendig? In diesem Kapitel soll eine Antwort auf diese Frage gegeben werden.

### 7.1 Maßnahmen im Bereich Energie

#### 1. Sofortiger Ausstieg aus der Atomenergie

Das Energiewende-Szenario zeigt, daß ein Einstieg in eine Energiesparwirtschaft und den forcierten Ausbau der erneuerbaren Energiequellen erst möglich wird, wenn alle Atomkraftwerke abgeschaltet sind. Die Erfahrung in einigen europäischen Nachbarländern wie z.B. Dänemark unterstützt unsere Einschätzung, daß erst durch klare und verbindliche Entscheidungen zum Verzicht auf die Atomenergie eine energiewirtschaftliche Dynamik weg von der bisherigen Verschwendungswirtschaft und hin zu ökologisch bewußterem Verhalten eingeleitet wird.

Daher ist es notwendig, möglichst umgehend eine Entscheidung über die Abschaltung der heute noch betriebenen Reaktoren zu treffen. Dies könnte z.B. in Form eines Atomenergie-Ausstiegsgesetzes erfolgen. Ein solches Gesetz muß klare Zeiträume für die Stilllegung der Nuklearanlagen enthalten, damit ein konkreter Handlungsdruck auf die Akteure der Energiewirtschaft zur Realisierung der Alternativen erzeugt wird.

#### 2. Einführung einer Energiesteuer

Eines der wirkungsvollsten Instrumente zur Mobilisierung von rationeller Energienutzung und erneuerbaren Energiequellen ist die Einführung einer allgemeinen Energiesteuer. Sie sollte nicht durch einen langwierigen Abstimmungsprozeß im europäischen Rahmen oder darüber hinaus weiter verzögert werden, vielmehr sollte Deutschland die internationale Willensbildung vorantreiben und die Energiesteuer notfalls auch in einem nationalen Alleingang einführen.

Die stufenweise Erhöhung der Steuer sollte für mehrere Jahre im voraus festgelegt werden, damit die Verbraucher ihre Investitionstätigkeit bereits heute nach den zukünftigen Preisen für Energieträger ausrichten können. Eine anteilige Verwendung der Steuer für Maßnahmen der rationellen Energienutzung und für die Kostenentlastung des Produktionsfaktors Arbeit ist anzustreben.

#### 3.

### **Novellierung des energiewirtschaftlichen Ordnungsrahmens**

Seit Jahren wird über eine Reform des noch aus dem Jahre 1935 stammenden Energiewirtschaftsgesetzes diskutiert. Vom Bundeswirtschaftsministerium wird ein Wettbewerbskonzept mit einer weitgehenden Deregulierung mit dem Ziel verfolgt, die Energiepreise insbesondere für die Industrie zu senken. Dies widerspricht jedoch den umweltpolitischen Zielen Klimaschutz und Ressourcenschonung, da durch niedrige Energiepreise der verschwenderische und nicht der sparsame Umgang mit Energie gefördert wird.

Es ist jedoch möglich, den Ordnungsrahmen der Energiewirtschaft in umweltverträglicher Weise umzugestalten (Öko-Institut 1996a). Hierzu gehört das Prinzip der integrierten Ressourcenplanung bzw. des Least-Cost Planning bei der Bereitstellung von Energiedienstleistungen für die Endkunden und die kontrollierte Einführung von Wettbewerbselementen im Bereich der Stromerzeugung.

Dabei müssen Systeme der Kraft-Wärme-Kopplung und erneuerbare Energiequellen in einem wettbewerblichen Erzeugungssystem durch Vorrangregelungen und ggf. Preisgarantien unterstützt werden. Ein solches erweitertes Stromeinspeisegesetz soll die Einspeise-, Reserve- und Zusatzstrombedingungen für dezentrale Eigenerzeuger regeln. Dieses Gesetz sollte sich nach dem Vorbild der amerikanischen PURPA-Gesetzgebung richten<sup>36</sup>.

#### **4. Förderprogramme zur forcierten Markteinführung von industrieller und kommunaler Kraft-Wärme-Kopplung sowie von Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen**

Förderprogramme des Bundes und der Länder müssen die Markteinführung von Techniken zur rationellen Energienutzung und zur Nutzung erneuerbarer Energien dort beschleunigen, wo die bisherigen ökonomischen Anreize nicht ausreichen. Dies betrifft insbesondere marktnahe, aber noch nicht wirtschaftliche Technologien erneuerbarer Energiequellen sowie die kommunale und industrielle Kraft-Wärme-Kopplung, soweit die Anreize durch ein auf die Kraft-Wärme-Kopplung erweitertes Einspeisegesetz nicht ausreichen. Notwendig ist zudem ein neues bundesweites Förderprogramm zum weiteren Ausbau der Nah- und Fernwärmeversorgung.

#### **5. Novellierung der Wärmeschutzverordnung und begleitendes Förderprogramm**

Die geltende Wärmeschutzverordnung sollte im Bereich der Neubauten auf echten Niedrigenergiehausstandard (30 bis 50 kWh/m<sup>2</sup>\*a) verschärft werden. Gleichzeitig muß die Geltung der Verordnung unbedingt auf den Altbaubestand ausgedehnt werden. Hier sind differenzierte Dämmvorgaben für die einzelnen Gebäudetypen sinnvoll. Zur Finanzierung der Mehrkosten des optimierten Wärmeschutzes sollten entsprechende Förderprogramme mit zinsgünstigen Krediten aufgelegt werden.

#### **6. Verabschiedung und rasche Umsetzung der Wärmenutzungsverordnung**

Die seit Jahren diskutierte Wärmenutzungsverordnung zielt in ihrer bisherigen Konzeption vorrangig auf die Einsparung von Wärme und Prozeßdampf, auf die Verbesserung der Wirkungsgrade industrieller Kraftwerke sowie auf die beschleunigte Einführung von Kraft-Wärme-Kopplung in der

---

<sup>36</sup> "Public Utility Regulatory Policies Act" von 1978

Industrie. Zu prüfen ist, ob Stromsparmaßnahmen und Stromsparkonzepte in diese Verordnung einbezogen werden können. Der Schwerpunkt der Verordnung sollte auf der Erstellung von betrieblichen Energiesparkonzepten liegen, die auch im Rahmen von Contracting-Maßnahmen und durch Energiedienstleistungs-Programme effizient und kostengünstig umgesetzt werden könnten.

Die so ergänzte "Verordnung zur rationellen industriellen Energienutzung" sollte in jedem Falle unabhängig von den im Frühjahr 1995 von der deutschen Industrie abgegebenen Selbstverpflichtungen zum Klimaschutz verabschiedet werden.

## **7. Verbot des Neuanschlusses elektrischer Heizungen und stufenweise Umrüstung der Altanlagen**

Der Neuanschluß von elektrischen Direktheizungen und von Nachtstromspeicherheizungen zur Erzeugung von Raumwärme mit einer Leistung von mehr als 2 kW sollte aufgrund des niedrigen Gesamtwirkungsgrades und der damit verbundenen hohen CO<sub>2</sub>-Emission für unzulässig erklärt werden.

Darüber hinaus ist anzustreben, daß auch im Gebäudebestand die elektrische Heizung und die elektrische Warmwasserbereitung spätestens im Zuge ohnehin anstehender Ersatz- und Modernisierungsinvestitionen nach Möglichkeit durch ökologisch verträglichere Systeme ersetzt werden.

## **8. Impulsprogramm zur Schaffung einer Stromsparinfrastruktur**

Die in einigen Bundesländern nach dem Vorbild des Schweizer RAVEL-Programms eingerichteten Impulsprogramme zur rationellen Verwendung von Strom sollten bundesweit ausgeweitet werden. Dieses integrierte Programm für Forschung, Meßkonzepte, beispielhafte Sanierungen, Aus- und Weiterbildung sowie Markteinführung von Stromspartechniken könnte die Voraussetzung für umfassende Stromsparprogramme schaffen (technisches Know-how, Normierung, Standardisierung, Datenbanken, Software-Pakete usw.).

## **9. Förderung von Angebots- und Einspar-Contracting**

Um die Herausbildung eines NEGAWatt-Marktes, eines Marktes für Energiedienstleistungen und die effiziente Bereitstellung und Nutzung von Energie zu beschleunigen und um die Risiken für private und öffentliche Anbieter besser kalkulierbar zu machen, müssen aktive Schritte wie zum Beispiel die Übernahme von Bürgschaften unternommen werden. Bisher dominieren effiziente Angebotstechniken wie die Brennwert-Technik und Blockheizkraftwerke (BHKW) den Contracting-Bereich. Demonstrationsprojekte für Einspar-Contracting, beispielsweise für die Sanierung von Beleuchtungsanlagen, sind hingegen noch selten.

## **10. Effizienzstandards und Kennzeichnungspflicht beim Stromverbrauch**

Insbesondere bei Elektrogeräten sind Effizienzstandards und eine Kennzeichnungspflicht für den Stromverbrauch von Massenprodukten einzuführen. Als erster Schritt für diese Kennzeichnung ist das "EU-Label" anzusehen, mit dem derzeit elektrische Haushaltsgeräte im Handel versehen werden. Diese Kennzeichnungspflicht muß auf weitere elektrische Geräte, z.B. Büromaschinen

ausgeweitet werden. Weiter ist es notwendig, die Verbrauchsklassen der Label jedes Jahr auf dem neuesten Stand der Technik fortzuschreiben.

Gleichzeitig sollten bundesweite Standards z.B. für Bürokommunikationstechnologien (Computer, Bildschirme, Drucker, Fax-Geräte, Kopierer), für Motoren, für Lampen/Leuchten oder für gewerbliche Klima- und Kühlgeräte festgelegt werden.

Außerdem ist es dringend erforderlich, mit der Erarbeitung eines bundesdeutschen Kennziffer- und Normensystems für elektrische Energie im Hochbau zu beginnen (z.B. entsprechend dem Entwurf der Schweizer SIA 380/4).

## 7.2

## Maßnahmen im Bereich Verkehr

### Motorisierter Individualverkehr

- Deutliche und stetig verschärfte Anhebung der Mineralölsteuer.
- Zurücknahme der steuerlichen Förderpolitik bei den Dieselfahrzeugen
- Aufwertung des Wohnumfeldbereiches für die Verkehrszwecke Einkaufen und Naherholung als Alltagsbedürfnis;
- Räumliche Zuordnung von Wohnen und Arbeiten in der Bauleitplanung;
- Ersatz der entfernungs- und Pkw-begünstigenden Arbeitnehmerpauschale für den Weg zum Arbeitsplatz;
- eine fiskalische Bodenpolitik und Genehmigungspraxis, die eine flächenintensive Bauweise erschwert; dies hat eine tendenzielle Rückorientierung auf stadtnähere, verdichtete Gewerbe- und Wohngebiete zur Folge, die neben einer verkehrsleistungsintensiven Mobilität auch der Versiegelung entgegenwirkt (Difu 1996);
- Eine Vereinbarung mit der Automobilindustrie mit eindeutigen Verbrauchszielen und Bestimmungen für die Überwachung ("Monitoring");
- Eine Kraftfahrzeugbesteuerung, die verbrauchsminimierte Fahrzeuge honoriert;
- Eine deutliche Kennzeichnungspflicht für Neuwagen über den Kraftstoffverbrauch;
- Forschungsanstrengungen zur Verbesserung der Kraftfahrzeug-Leistungsmerkmale.

Weitere begleitende Maßnahmen werden für erforderlich gehalten, damit die Verbrauchsminimierung im Fahrzeugbestand der Zieljahre 2010 und 2020 die anspruchsvollen Ziele erreicht. Dazu gehören folgende Rahmenbedingungen:

- konsequente Geschwindigkeitsbeschränkung auf allen Autobahnen auf maximal 100 km/Std. und eine strenge Überwachung der Limits;
- Förderung des Mobilitätsleitbildes "rationale Verkehrsmittelnutzung". Hierzu gehört auch, daß die Fahrzeugbeschaffung den vorwiegend genutzten Fahrtzwecken und Fahrtmustern angepaßt und eine Übermotorisierung konsequent vermieden wird. Der Besitz von Kleinwagen muß gesellschaftlich gefördert werden, wozu akzeptanzsteigernde Maßnahmen notwendig sind. Für bestimmte außergewöhnliche Nutzungszwecke oder Komfortansprüche, die ein größeres Auto erfordern, sollte auf den Fahrzeugpark von Car Sharing-Gemeinschaften o.ä. zurückgegriffen werden können.

### **Schiienenpersonenfernverkehr**

- Ausbau des nationalen Hochgeschwindigkeitsnetzes und Verknüpfung mit den europäischen Hochgeschwindigkeitsangeboten (Höchstgeschwindigkeit 250 - 300 km/h, Reisegeschwindigkeit bis 200 km/h);
- Einsatz moderner Triebzüge mit hoher Leistung und Kapazität (ICE-Standard);
- schnelle, hochwertige Ergänzung des Fernverkehrsnetzes durch ein IC/EC-Angebot in den Randbereichen und als Verstärkung;
- weitere Ergänzung durch ein bundesweites Interregio-Angebot zur Verbindung von Ober- und Mittelzentren und deren Anbindung an das Hochgeschwindigkeitsnetz;
- Aufbau eines hochwertigen Nachtangebotes in Form eines Hotelzugnetzes sowie Aufbau eines Autoreisezug-Netzes.

### **Schiennahverkehr**

- (Wieder-)Einführung von Straßenbahn- bzw. Stadtbahnssystemen bzw. innerstädtischer Straßenbahnausbau mit modernstem Ausbaustandard und mit modernen Fahrzeugen;
- Ausweitung des städtischen Schienenpersonennahverkehrs in die Umlandregionen der Städte und Ballungsräume nach Karlsruher Modell (kostengünstiger, dichter Ausbau unter Einbeziehung vorhandener Eisenbahntrassen und Stichstrecken in die dichtbesiedelten Ortslagen);
- komplettierender Ausbau der Nahverkehrsnetze der Deutschen Bahn AG mit attraktivem Fahrplanangebot und modernen Fahrzeugen;
- flächendeckende Einführung integraler Taktfahrpläne mit Einbeziehung der vernetzten Buslinien, Optimierung der Verknüpfungen und Gewährleistung der Umsteigesicherheit;
- Aufwertung der Bahnhöfe und Haltepunkte im Nahverkehr (Mediastadt/Öko-Institut 1995);
- Integration kundenfreundlicher Dienstleistungsangebote in die Schienenfahrzeuge (z.B. Frühstückservice, Mobilitätsberatung am Computerterminal etc.).

Parallel zu diesen Fördermaßnahmen, die am Angebot des ÖPNV ansetzen und als Anreiz zur Nutzung wirken, wirken die restriktiven Maßnahmen gegenüber dem MIV, die den ÖPNV in seiner relativen Konkurrenzfähigkeit stärken, auf eine Verlagerung von MIV-Verkehrsleistungen hin (Prinzip des "Push & Pull").

**Schiengüterverkehr / Straßengüterverkehr**

- Ausweitung des Ganzzugverkehrs mit Logistikzügen der Industrie;
- konzentrierte, verbesserte Bedienung der Gleisanschlüsse, Einsatz neuer Umschlagtechnologien im Gleisanschluß;
- Ausweitung Terminalverkehr, Einsatz neuer Technologien im Kombinierten Ladungsverkehr;
- qualitativ hochwertiges und zuverlässiges Angebot für den Teilladungsverkehr, 24-Std.-Verkehr zwischen 41 deutschen Frachtzentren und ca. 50 nachgeordneten logistischen Sammel- und Verteilpunkten, ausschließlicher Einsatz von Wechselbehältern;
- Ausbau Güterverkehrszentren.

Weitere unterstützende Bedingungen müssen nach unserer Meinung erfüllt sein:

- umfassende Modernisierung des vom Güterverkehr genutzten Schienennetzes auch in der Fläche abseits der schnellen 24-Std.-Verbindungen;
- Beschränkungen für den Straßengüterverkehr (kommunale Tonnagebegrenzung, Nachtfahrverbote, strengere Überwachung von Arbeitszeiten für Lastwagenfahrer, Überwachung der Geschwindigkeitsbeschränkungen etc.);
- Beschränkung von Gefahrguttransporten auf der Straße;
- stufenweise, aber substantielle Erhöhung der Transportkosten auf der Straße, z.B. in Form einer leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe (siehe auch (Hey u.a. 1992)).



## 8 Diskussion der Ergebnisse, Fazit

### 8.1.1 Grenzen regenerativer Energiequellen

Ogleich regenerative Energiequellen prinzipiell zeitlich unerschöpflich sind, sind deren Potentiale bei gegebenen Flächen nicht unbegrenzt. Dies gilt um so mehr, wenn man bedenkt, daß die Nutzung regenerativer Energiequellen in vielen Fällen in Konkurrenz steht zu anderen Verwendungsansprüchen für diese Flächen (z.B. Biomasseanbau für energetische Zwecke) oder andere Umweltziele durch die Nutzung regenerativer Energiequellen konterkariert werden (z.B. Naturschutz vs. Windkraftanlagen).

Trotz ambitionierter Annahmen hinsichtlich der Nutzung regenerativer Energiequellen bleibt ihr Anteil am Ende des Wende-Szenarios mit lediglich rund 25% des Primärenergiebedarfs überraschend niedrig. Da jedoch zugleich die heimischen Potentiale weitgehend ausgeschöpft sind, stellt sich die Frage, wie eine nachhaltige Energiewirtschaft, die langfristig zu 100% auf regenerativen Energiequellen basieren muß, dennoch angestrebt werden kann.

Denkbar wäre z.B., zu diesem Zweck die Importe regenerativ basierter Energieträger<sup>37</sup> auszuweiten. Dabei sind jedoch - gerade auch vor dem Ziel einer langfristig nachhaltigen Energiewirtschaft - verschieden Aspekte zu berücksichtigen:

- Nachhaltigkeit verstanden als Orientierung am verfügbaren Umweltraum impliziert grundsätzlich eine Ausrichtung auf regional verfügbare Ressourcen und Ökonomien. Insofern wäre der Import von regenerativen Energieträgern - in welche Energieform auch immer - prinzipiell zumindest kritisch zu hinterfragen.
- Nachhaltigkeit heißt andererseits nicht regionale Autarkie. Ein Handel mit Regionen, deren Angebot an regenerativen Energiequellen höher ist als deren Nachfrage (z.B. Wüstengebiete) könnte jedenfalls in Erwägung gezogen werden.
- Heutzutage werden große Mengen fossiler Energieträger importiert. Bedingt durch die Energiewende würden diese Importe deutliche zurückgehen. Der Export regenerativ basierter Energieträger könnte für manche Staaten eine Kompensation für die rückläufigen Exporterlöse aus fossilen Energieträgern darstellen.
- Der Import von Biomasse z.B. in Form von Holzhackschnitzeln, wäre ökologisch deshalb bedenklich, weil dadurch regionale Nährstoffkreisläufe gestört und die Böden im Exportland mittelfristig ausgelaugt bzw. entmineralisiert werden.<sup>38</sup>

---

<sup>37</sup> Denkbar wären z.B. solartechnisch erzeugter Wasserstoff, photovoltaisch basierte Stromimporte, Wasserkraftstrom oder Biomasseimporte.

<sup>38</sup> Das Biomasseimporte keine rein hypothetische Option sind, zeigen entsprechende Entwicklungen in Dänemark. Nachdem dort in Holzhackschnitzelanlagen zunächst vor allem heimische Hackschnitzel verwendet wurden, werden inzwischen zunehmend mehr Importe aus Finnland und Skandinavien eingesetzt. Erste ökologische bedenkliche Tendenzen in den Exportländern lassen sich dabei bereits beobachten.

- Der Export regenerativ basierter Energieträger konkurriert z.B. bei Entwicklungsländern mit dem Ausbau regenerativer Energienutzung im eigenen Land. Wichtig wäre also, daß durch derartige Importe Entwicklungsmöglichkeiten in den Exportländern nicht eingeschränkt werden.

Diese Aspekte zeigen bereits, daß die Frage des Imports regenerativ basierter Energieträger nicht einfach zu entscheiden ist.

Doch unabhängig von der Debatte, ob der Import von regenerativ basierter Energieträger tatsächlich ökologisch verträglich und nachhaltig ist, stellt sich hier die Frage, ob derartige Importe tatsächlich eine langfristige Lösungsoption sind.

Denn bereits jetzt ist klar, daß auch global physische Potentialgrenzen mittelfristig einer unbeschränkten Nutzung regenerativer Energiequellen im Wege stehen. Letztlich führt also kein Weg daran vorbei, den Endenergiebedarf auch nach 2020 weiterhin drastisch zu reduzieren.

## 9 Literatur

- Altner u.a. 1995: Zukünftige Energiepolitik - Vorrang für rationelle Energienutzung und regenerative Energiequellen. Potentiale und Handlungsfelder - Eine diskursorientierte Studie im Auftrag der Niedersächsischen Energieagentur, Economica Verlag, Bonn
- Baum, H.; Pesch, S. 1994: Untersuchung der Eignung von Car-Sharing im Hinblick auf Reduzierung von Stadtverkehrsproblemen. Schlußbericht zum Forschungsvorhaben FE-Nr. 70421/93 im Auftrag des Bundesministers für Verkehr, Köln
- BMWi 1996: Persönliche Mitteilung des Bundesministeriums für Wirtschaft, Februar 1996
- CITY:mobil 1996: CITY:mobil Forschungsverbund (Hrsg.): Stadtverträgliche Mobilität. Zwischenbericht über die Forschungsvorhaben im Zeitraum März 1995 bis 31.12.1995; F+E-Projekt Nr. 07 SIO 14 des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie; Öko-Institut e.V., Freiburg/Berlin, Institut für sozial-ökologische Forschung, Frankfurt am Main, Österreichisches Ökologie-Institut e.V., Wien, Contract KG, Karlsruhe und ivu GmbH, Berlin/Sexau
- DB 1992: Heinisch, R.: Stellungnahme der DB zur Anhörung der Enquete-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre" zum Thema "Nachfrage- und Angebotsentwicklung im Verkehr"; in: Deutscher Bundestag, Enquete-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre", Kommissionsdrucksache 12/7-e vom 22. Juni 1992
- Difu 1996: Apel, D.; Henckel, D. (Hrsg.): Flächen sparen, Verkehr reduzieren. Möglichkeiten zur Steuerung der Siedlungs- und Verkehrsentwicklung. Deutsches Institut für Urbanistik. Beiträge zur Stadtforschung, Berlin
- DIW 1994a: Pkw-Bestandentwicklung in Deutschland bis zum Jahr 2010; in: DIW-Wochenbericht 22/94, S. 357
- DIW 1994b: Entwicklung des Personenverkehrs in Deutschland bis zum Jahr 2010; in: DIW-Wochenbericht 22/94, S. 365
- DIW/ ARENHA (Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Berlin/Ingenieurgesellschaft für Energie- und Entsorgungstechnik, Hannover) 1990: Biomasse. in: Enquete-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre": Energie und Klima. Studienprogramm Band 3: Erneuerbare Energien, Economica Verlag/Verlag C.F. Müller, Bonn/Karlsruhe, S. 271-436
- DIW/ISI (Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Berlin/Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Karlsruhe) 1987: Erneuerbare Energiequellen - Abschätzung des Potentials in der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahr 2000. R. Oldenburg Verlag, München/Wien
- ebök/LfE (Büro für Energieberatung und Ökologische Konzepte/Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Kraftwerkstechnik) 1990: Emissionsminderung durch rationelle Energienutzung bei Elektrogeräten. in: Enquete-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre", Energie und Klima, Band 2, Bonn/Karlsruhe
- EG-Kommission 1995: Eine Strategie der Gemeinschaft zur Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von Personenkraftwagen und zur Senkung des durchschnittlichen Kraftstoffverbrauchs. Mitteilung der Kommission an den Rat und das Europäische Parlament. Drucksache KOM(95) 689 endg. vom 20.12.1995, Brüssel
- Fleissner, P. u.a. 1993: Input-Output-Analyse - Eine Einführung in Theorie und Anwendung. Springer Verlag, Wien/New York
- Hartmann, Hans/Strehler, Arno 1995: Die Stellung der Biomasse - im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energieträgern aus ökologischer, ökonomischer und technischer Sicht.

Abschlußbericht für das Bundesministerium für Ernährung , Landwirtschaft und Forsten (BML), Landwirtschaftsverlag, Münster

Hey, Ch.; Hickmann, G.; Geisendorf, S.; Schleicher-Tappeser, R. 1992: Dead End Road. Klimaschutz im europäischen Güterverkehr. Ein Greenpeace Szenario; Freiburg

Holub, Hans-Werner/Schnabl Hermann 1994: Input-Output-Rechnung: Input-Output-Analyse. Oldenburg Verlag, München/Wien

IWU (Institut für Wohnen und Umwelt) 1995: Empirische Überprüfung der Möglichkeiten und Kosten im Gebäudebestand und bei Neubauten Energie einzusparen und die Energieeffizienz zu steigern (ABL und NBL). in: Enquete-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre" des Deutschen Bundestages (Hrsg.), Studienprogramm Band 3, Energie, Teilband I, Economica Verlag, Bonn

Kaltschnitt, Martin/Wiese, Andreas (Hrsg.) 1993: Erneuerbare Energieträger in Deutschland - Potentiale und Kosten. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York

Luther, Joachim/Nitsch, Joachim 1990: Energieversorgung der Zukunft - Rationelle Energienutzung und erneuerbare Quellen. Springer-Verlag, Berlin u.a.

Mediastadt/Öko-Institut 1995: Christ, W.; Boczek, B.; Loose, W.; Lücking, G.: Planungshandbuch Umweltbahnhof Rheinland-Pfalz, im Auftrag des rheinland-pfälzischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau und der Deutschen Bahn AG; Mainz/Darmstadt/Freiburg

o.V. 1994a: Elektrizitätswirtschaft, Jg. 94 (1995), Heft 18

o.V. 1994b: Elektrizitätswirtschaft, Jg. 94 (1995), Heft 18

Öko-Institut 1990: Das GRÜNE CO<sub>2</sub>-optimierte Energiewende-Szenario 2010, Studie i.A. der Fraktion Die Grünen im Dt. Bundestag, Darmstadt/Freiburg

Öko-Institut 1992: Ein klimaverträgliches Energiekonzept für die Bundesrepublik Deutschland ohne Atomenergie: Energiewende-Szenarien für Ost- und Westdeutschland bis zum Jahr 2010, Studie i.A. von Greenpeace Deutschland, Berlin/Darmstadt/Freiburg

Öko-Institut 1996: Nachhaltige Energiewirtschaft - Einstieg in die Arbeitswelt von morgen. Freiburg/Darmstadt/Berlin

Öko-Institut 1996a: Die Energiewende gestalten: Ein Vorschlag des Öko-Institutes für einen neuen energiewirtschaftlichen Ordnungsrahmen in der Bundesrepublik Deutschland, Freiburg

Öko-Institut/GHK 1994: Gesamt-Emissions-Modell integrierter Systeme (GEMIS), Umweltanalyse von Energie-, Transport- und Stoffsystemen, Version 2.1, EDV-Modell, Handbuch und Projektbericht, erstellt vom Öko-Institut und der Gesamthochschule Kassel im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie, und Bundesangelegenheiten, Darmstadt/Kassel

Öko-Institut/Wuppertal Institut 1995: Integrierte Ressourcenplanung - Die Fallstudie der Stadtwerke Hannover. Doku-Band 1-9, Hannover

Prognos 1995: Die Energiemärkte Deutschlands im zusammenwachsenden Europa - Perspektiven bis zum Jahr 2020, Studie i.A. des Bundesministers für Wirtschaft, Basel

Schallaböck, K. O. 1995: Luftverkehr und Klima - ein Problemfall. Kurzstudie des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt, Energie, gefördert von der Initiative "Ökologischer Marshallplan", Wuppertal

Statistisches Bundesamt 1995: Input-Output-Tabellen 1991. Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung, Fachserie 18, Reihe 2, Metzler-Poeschel, Stuttgart

Strehler, A. u.a. 1990: Nachwachsende Rohstoffe. in: Enquete-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre": Energie und Klima. Studienprogramm Band 3: Erneuerbare Energien, Economica Verlag/Verlag C.F. Müller, Bonn/Karlsruhe, S. 437-518

VWEW 1994: Die öffentliche Elektrizitätsversorgung 1994