

## Unterrichtung

durch die Bundesregierung

### Forschung zur CO<sub>2</sub>-Minderung in den wichtigsten Industriestaaten einschließlich China

#### Inhaltsübersicht

	Seite
<b>Vorbemerkungen</b> .....	2
<b>I. Internationale Klimaschutzpolitik</b> .....	2
<b>II. Forschungs- und Technologiepolitik</b> .....	4
II.1 Deutschland .....	4
II.2 Frankreich .....	6
II.3 Großbritannien .....	8
II.4 Italien .....	9
II.5 Japan .....	10
II.6 Kanada .....	11
II.7 Rußland .....	13
II.8 USA .....	14
II.9 China .....	15

## Vorbemerkungen

Am 20. Juni 1996 hat der Deutsche Bundestag einen Beschlußantrag zur Forschung und Sicherung der Energieversorgung und für ein besseres Klima angenommen, der von den Abgeordneten Christian Lenzer, Hans-Otto Schmiedeberg, Prof. Dr.-Ing. Karl-Hans Laermann, Dr. Karlheinz Gutmacher und den Fraktionen der CDU/CSU und F.D.P. (Drucksache 13/3610) eingebracht worden war. Unter Punkt I.3 dieses Antrags wird die Bundesregierung „um eine Darstellung gebeten, wie sich die wichtigsten Industriestaaten einschließlich China hinsichtlich ihres Beitrags zur CO<sub>2</sub>-Minderung verhalten wollen und welche Forschungsbemühungen dort unternommen werden“.

Der nachfolgende Bericht kommt dieser Bitte nach und skizziert die entsprechenden Bemühungen der G8-Staaten, also der Länder Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Italien, Japan, Kanada, Rußland und USA, sowie Chinas.

Der Bericht wurde im Frühjahr 1998 fertiggestellt, um zum einen die Ergebnisse der 3. Vertragsstaatenkonferenz zur Klimarahmenkonvention im Dezember 1997 in Kioto zu berücksichtigen und zum anderen die sich daraus ergebenden Konsequenzen für die Forschungspolitik der betrachteten Länder so genau wie möglich in Erfahrung zu bringen. Dies geschah Mitte März 1998 anlässlich des 18. Treffens des „Committee on Energy Research and Technology“ (CERT) der Internationalen Energieagentur (IEA). Zur gleichen Zeit haben die OECD-Staaten auf einer Tagung in Paris ihre CO<sub>2</sub>-Minderungspolitik nochmals aktuell dargestellt. Diese Angaben wurden ebenfalls berücksichtigt.

Als Informationsmaterial dienen

- speziell angeforderte Berichte der jeweiligen deutschen Botschaften,

- FuE-Programme der Staaten und ihrer Forschungseinrichtungen,
- Konferenzberichte der OECD,
- Berichte und Statistiken der IEA,
- Fachzeitschriften,
- Veröffentlichungen im Internet.

Die Aussagen zum ersten Teil des oben angeführten Beschlusses, nämlich zu den generellen Beiträgen der Industrieländer zur CO<sub>2</sub>-Minderung, werden zusammenfassend im ersten Abschnitt des Berichts dargestellt, während die Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen in den folgenden Abschnitten länderspezifisch ausführlich beschrieben werden.

Die Zahlenangaben des Berichts zum Umfang der staatlichen Energieforschungsbudgets sind aus Gründen der Vergleichbarkeit nach der Systematik der Energieforschungsstatistik der IEA gegliedert, die gegenwärtig nur den Zeitraum bis einschließlich 1996 umfaßt. Gesonderte Statistiken über speziell auf die Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen gerichtete Aktivitäten liegen nicht vor. Erkenntnisse über den Mitteleinsatz für Technologiefortschritte bei der CO<sub>2</sub>-Minderung können daher nur mittelbar abgeleitet werden aus den Übersichten zur Energieforschung, die sich jedoch in den meisten Ländern schwerpunktmäßig auf CO<sub>2</sub>-mindernde Techniken richtet. Für Rußland und China konnten keine Angaben zu den eingesetzten Finanzmitteln gemacht werden, da die IEA keine Statistiken über deren Energieforschungsbudgets führt und entsprechende Angaben aus diesen Ländern nicht durchgängig verfügbar waren.

## I. Internationale Klimaschutzpolitik

Vom 1. bis 10. Dezember 1997 fand in Kioto, Japan, die 3. Vertragsstaatenkonferenz der Klimarahmenkonvention statt. Sie hatte durch das auf der 1. Vertragsstaatenkonferenz im Frühjahr 1995 in Berlin beschlossene sogenannte Berliner Mandat den Auftrag, ein Protokoll zu verabschieden, das insbesondere die Verpflichtungen der Industrieländer nach der Klimarahmenkonvention verschärfen und zu diesem Zweck für die Industrieländer quantifizierte Begrenzungs- und Reduktionsziele für Treibhausgasemissionen sowie Politiken und Maßnahmen festlegen sollte. Die 3. Vertragsstaatenkonferenz nahm ein Klimaprotokoll am 10. Dezember 1997 einstimmig an.

Nachfolgend sind die wesentlichen Bestimmungen des Klimaprotokolls dargestellt.

### Reduktionsziele

Die Industrieländer werden erstmals in rechtsverbindlicher Form zur Begrenzung und Reduktion von Treibhausgasemissionen verpflichtet. Sie müssen insgesamt eine Reduktion der Emissionen der Treibhausgase CO<sub>2</sub>, Methan, Distickstoffoxid, zweier Gruppen von Kohlenwasserstoffen (HFC und PFC) sowie Schwefelhexafluorid um mindestens 5 % im

Zeitraum 2008 bis 2012 gegenüber der fünffachen Emissionsmenge des Basisjahres 1990 bzw. 1995 bezüglich der drei letztgenannten Gase erreichen. Die Erfüllung dieses Gesamtreduktionsziels wird auf die einzelnen Industrieländer in unterschiedlicher Weise verteilt. Jedes Industrieland hat ein spezifisches rechtsverbindliches Ziel zu erfüllen. So müssen die EU-Staaten ihre Emissionen um 8 % verringern. Sie können aber – und werden dies auch tun – die auf die EU entfallende Gesamtreduktion gemeinsam bei differenzierten Beiträgen der einzelnen Mitgliedstaaten erbringen. Die meisten osteuropäischen Staaten und die Schweiz müssen ebenfalls eine 8prozentige Reduktion erreichen, während die USA ihre Emissionen um 7 % und Japan, Kanada, Polen sowie Ungarn um 6 % reduzieren müssen. Rußland, die Ukraine und Neuseeland müssen stabilisieren. In Norwegen dürfen die Emissionen hingegen um 1 % und in Australien um 8 % ansteigen. Bis zum Jahr 2005 müssen die Industrieländer belegbare Fortschritte bei der Umsetzung dieser Ziele erreicht haben.

Um das Gesamtziel zu erreichen, müssen viele Industrieländer beträchtliche Anstrengungen unternehmen, die das für sie festgelegte Reduktionsziel in einem etwas anderen Licht erscheinen lassen: die vorgeschriebene Gesamtreduktion von mindestens 5 % entspricht einer rund 30prozentigen Reduktion gegenüber dem für das Jahr 2010 prognostizierten Emissionsniveau, das entstehen würde, wenn die Staaten keine Gegenmaßnahmen ergreifen würden, sondern „Business as usual“ betrieben. Dies liegt daran, daß beispielsweise die USA, aber auch Kanada, Japan und Australien im Jahr 1996 bereits um 5 % bis 10 % höhere Emissionen als 1990 haben und ohne zusätzliche Gegenmaßnahmen einen weiteren deutlichen Anstieg erwarten.

### **Politiken und Maßnahmen**

Es ist gelungen, wichtige Politiken und Maßnahmen zum Klimaschutz im Protokoll zu verankern. Entsprechend ihren nationalen Gegebenheiten sollen die Industrieländer z. B. die Energieeffizienz in allen Sektoren steigern, die Nutzung erneuerbarer Energien und umweltfreundlicher Techniken erhöhen, Reformen in relevanten Sektoren vornehmen, dem Klimaschutz entgegenstehende Marktanreize schrittweise reduzieren, nachhaltige Land- und Forstwirtschaft betreiben sowie die Emissionen von Treibhausgasen in den Bereichen Verkehr, Abfall und Energie begrenzen bzw. abbauen. Wichtig ist auch die Aufnahme einer Regelung über die Emissionen durch Flug- und Schifftreibstoffe; über die Internationale Zivilluftfahrt-Organisation (ICAO) bzw. die Internationale Schifffahrts-Organisation (IMO) müssen Maßnahmen in diesem Sektor vorangetrieben werden.

### **Emissionshandel (Emissions Trading)**

Dieses Instrument soll den Staaten Flexibilität bei der Zielerfüllung geben. Dabei kann ein Land Emissionsreduktionen von anderen Vertragsparteien kaufen und sie dem eigenen Emissionsbudget hinzufügen, um so die vorgegebene Emissionsmenge einzuhalten. Der Marktpreis der Emissionsreduktionen be-

stimmt dann, ob es günstiger ist, Reduktionsmaßnahmen im eigenen Land durchzuführen, oder in anderen Staaten erreichte Emissionsreduktionen zu kaufen. Im Protokoll ist festgelegt worden, daß ein solcher Handel nationale Maßnahmen nicht ersetzen kann, sondern nur ergänzend zu nationalen Maßnahmen stattfinden darf. Eine von der EU geforderte prozentuale Begrenzung der Zielerfüllung durch Emissionshandel konnte im Protokoll noch nicht durchgesetzt werden. Hier müssen bei der vereinbarten weiteren Ausgestaltung des Trading Systems durch die vierte Vertragsstaatenkonferenz der Konvention im November 1998 in Buenos Aires die notwendigen Einschränkungen eingebaut werden. Damit sollen Schlupflöcher verhindert werden, die es den Industrieländern erlauben würden, ihre Reduktionsziele im wesentlichen durch Handel statt durch nationale Maßnahmen zu erfüllen und beispielsweise von den beträchtlichen Emissionsminderungen zu profitieren, die durch den wirtschaftlichen Einbruch in den mittel- und osteuropäischen Staaten, in Rußland und der Ukraine entstanden sind.

### **Gemeinsam umgesetzte Klimaschutzprojekte (Joint Implementation)**

Mit diesem Flexibilitätsinstrument können zwischen Ländern bestehende Kostenunterschiede bei Reduktionsmaßnahmen genutzt werden. Im Ausland kostengünstiger erzielte Reduktionen durch Investitionen in konkrete Projekte können dann auf nationale Reduktionsverpflichtungen angerechnet werden. Diese Möglichkeit besteht allerdings zunächst nur zwischen Industrieländern.

Eine Einbeziehung der Entwicklungsländer in dieses Konzept soll allerdings durch einen neuartigen Mechanismus für umweltverträgliche Entwicklung, den „Clean Development Mechanism“ erfolgen. Er soll die Vertragsparteien dabei unterstützen, zur Umsetzung der Klimarahmenkonvention durch Projekte beizutragen und erforderlichenfalls auch bei der Beschaffung der entsprechenden Finanzierung behilflich sein. Dabei sollen in begrenztem Umfang auch Mittel für Anpassungsmaßnahmen in Entwicklungsländern verfügbar gemacht werden. Im Rahmen dieses Mechanismus können im Zeitraum 2000 bis 2007 durchgeführte Projekte und die daraus resultierenden zertifizierten Reduktionen auf die erste Verpflichtungsperiode im Zeitraum 2008 bis 2012 angerechnet werden. Die nähere Ausgestaltung wird ebenfalls Gegenstand der weiteren Verhandlungen sein.

### **Einbeziehung von Senken**

Einbeziehung von Senken bedeutet ein Aufrechnen von Emissionen gegen die Bindung von Treibhausgasen in sogenannten Senken, insbesondere Wäldern. Es werden nur durch den Menschen verursachte Kohlenstoff-Bestandsveränderungen seit 1990 bei der Erfüllung der Reduktionsverpflichtungen berücksichtigt werden, begrenzt auf die Bereiche Aufforstung, Wiederaufforstung und Entwaldung. Dabei geht es sowohl um die Bindung von Kohlenstoff in Wäldern als auch um seine Freisetzung. Die 4. Ver-

tragsstaatenkonferenz soll über Modalitäten, Regeln und Richtlinien für die spätere Einbeziehung zusätzlicher Senken entscheiden.

### Einbeziehung der Entwicklungsländer

Eine von den Industrieländern angestrebte Konkretisierung der nach der Klimarahmenkonvention bestehenden Verpflichtungen für alle Vertragspartner, also auch die Entwicklungsländer, konnte nur bedingt erreicht werden. Das Protokoll sieht vor, daß alle Vertragsparteien nationale Programme für Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen formulieren und Politiken und Programme für den effektiven Transfer von Umwelttechnologien sowie Daten und Modelle für nationale Emissionsinventare und Bildungs- und Ausbildungsprogramme verbessern sollen.

### Regelmäßige Überprüfung der Protokollverpflichtungen

Das Protokoll beinhaltet eine laufende Überprüfung der Verpflichtungen aller Vertragsparteien, also auch der Entwicklungsländer. Die erste Überprüfung soll bei der 2. Vertragsstaatenkonferenz des Protokolls erfolgen. Dies wird voraussichtlich im Jahre 2002 sein. Deutschland und die EU streben dabei an, daß die Industrieländer dann weitere und schärfere Verpflichtungen zur Reduktion einleiten und Entwicklungs-

länder konkrete Verpflichtungen zumindest zur Begrenzung ihrer Emissionen übernehmen sollen.

### Inkrafttreten

Das Protokoll tritt in Kraft, wenn 55 Vertragsstaaten den Text ratifiziert haben. Weitere Bedingung ist, daß die Industrieländer unter den Vertragsparteien des Protokolls mit einem Anteil vertreten sind, der 55 % der 1990 von ihnen ausgestoßenen CO<sub>2</sub>-Emissionen entspricht.

### Nationalberichte gemäß der Klimarahmenkonvention

Alle Vertragsparteien müssen gemäß der Klimarahmenkonvention nationale Berichte über ihre Klimaschutzpolitik vorlegen. Hierbei bestehen unterschiedliche Verpflichtungen für Industrie- und Entwicklungsländer. Die Industrieländer haben verpflichtungsgemäß ihre zweiten Nationalberichte bis April 1997 vorgelegt (den mittel- und osteuropäischen Staaten wurde eine Frist bis April 1998 eingeräumt).

Von Entwicklungsländern liegen erst sehr wenige erste Nationalberichte vor (z. B. von China noch nicht). Die Zusammenfassung aller vorliegenden Nationalberichte sind über die Internet-Adresse des Sekretariats der Klimarahmenkonvention (<http://www.unfccc.de>) zugänglich.

## II. Forschungs- und Technologiepolitik

### II.1 Deutschland

#### II.1.1 Überblick

Die Energieforschungspolitik in Deutschland ist geprägt durch das Energieforschungsprogramm der Bundesregierung sowie ergänzend durch Programme auf Ebene der 16 Bundesländer. Auf seiten des Bundes werden die Energieforschungsaktivitäten koordiniert vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF). Grundlage der aktuellen Energieforschungspolitik der Bundesregierung ist das im Mai 1996 verabschiedete 4. Energieforschungsprogramm. Dieses Mehrjahresprogramm ist primär darauf ausgerichtet, alle diejenigen Technikooptionen zu entwickeln und für die spätere Anwendung offenzuhalten, die nennenswert zur nachhaltigen Senkung der energiebedingten Umwelt- und Klimabelastungen beitragen können. Darüber hinaus soll das Programm die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft stärken. Zur Erreichung dieser politischen Ziele wurden im wesentlichen zwei Strategieansätze gewählt:

- Nachhaltige Reduktion des Energiebedarfs in allen Teilen des Energiesystems,

- Entwicklung von Energiequellen, die praktisch frei sind von CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Ergänzt werden diese Ansätze durch die Behandlung von Querschnittsthemen wie Systemanalysen, Datenbanken oder Informationsverbreitung.

Das Energieforschungsbudget des Bundes nimmt hinter Japan, den USA und Frankreich hinsichtlich des Volumens den vierten Platz unter den OECD-Staaten ein. Wie in den anderen in diesem Bericht betrachteten Staaten sind die Aufwendungen des Bundes für Energieforschung in den vergangenen Jahren deutlich zurückgegangen. Sie betragen im laufenden Haushalt 1998 knapp 750 Mio. DM. Davon entfallen mit ca. 230 Mio. DM mehr als 30 % auf erneuerbare Energien. In diesem Bereich wird damit, bezogen auf die jeweiligen nationalen Energieforschungsaufwendungen, das Engagement aller anderen betrachteten Staaten bei weitem übertroffen.

#### II.1.2 Fossile Energien/Kraftwerkstechnik

Zentrale Themen sind die Erhöhung der Wirkungsgrade in Kraftwerken und die Verbrennungsforschung, da die Verbrennung fossiler Energien für die Stromerzeugung, wie Steinkohle, Braunkohle und

Gas, größte Quelle für CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland ist. Hierfür stehen im laufenden Haushalt 1998 über 38 Mio. DM zur Verfügung, das sind ca. 5 % des Energieforschungsbudgets. Die Forschungsförderung konzentriert sich auf folgende Gebiete:

- Verbesserung von Komponenten und Verfahren, wie die Hochtemperatur-Gasturbinen für Kombikraftwerke und die Verbrennung von Kohle.
- Entwicklung und Erprobung neuer Materialien für höhere Drücke und Temperaturen in Kraftwerken, die den Anforderungen hinsichtlich Korrosion und Erosion genügen.
- Für die längerfristige Zukunft wird weiterhin das Verfahren der Druckkohlenstaubfeuerung entwickelt, das unter wirtschaftlichen und Umwelt-Gesichtspunkten einen größeren Fortschritt verspricht.
- In der begleitenden Grundlagenforschung ist die Heißgasreinigung im Hinblick auf die Verbrennung unter Druck und die Kombination mit Gasturbinen von zentraler Bedeutung.

### II.1.3 Erneuerbare Energien

Die Forschungsförderung im Bereich erneuerbarer Energien zielt darauf ab, die regenerativen Energiequellen langfristig für die Energieversorgung wirtschaftlich nutzbar zu machen. Auf seiten des Bundes wird mehr als ein Viertel des Energieforschungsbudgets hierfür bereitgestellt, dieses hohe Niveau soll gemäß der Finanzplanung in den kommenden Jahren weiter ansteigen.

Ungefähr die Hälfte der Projektförderung zu erneuerbaren Energien entfällt auf die Photovoltaik. Das auf zehn Jahre angelegte Programm „Photovoltaik 2005“ des BMBF soll den Weg für eine zukünftig verstärkte Anwendung von Photovoltaik ebnen. Im Vordergrund stehen die Senkung der spezifischen Preise und die Erhöhung des jährlichen Stromertrags. Hierzu werden Verfahren gefördert, die eine Senkung der Herstellungskosten von Solarzellen- und Modulen versprechen. Ferner werden geeignete Maßnahmen unterstützt, um die noch relativ hohen Nebenkosten für Montage, Installation, Inverter, Batterie und Regler zu reduzieren. Allein in diesem Jahr wird die Förderung der Photovoltaik mit 80 Mio. DM unterstützt.

Von besonderer Bedeutung für die Zukunft der Photovoltaik in Deutschland ist nach Auffassung der Bundesregierung der Ende letzten bzw. Anfang dieses Jahres begonnene Aufbau neuer Produktionsanlagen für Solarzellen in Bayern, Nordrhein-Westfalen und Thüringen. Bei einer Produktionskapazität von 50 Megawatt Solarzellen pro Jahr rückt Deutschland damit auf in die Weltspitze der Photovoltaikproduzenten. Dank modernster Technologien können die Stromerzeugungskosten aus Sonnenenergie weiter deutlich gesenkt werden. Die Bundesregierung unterstützt die erforderlichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in diesen Projekten in großem Umfang.

Im Bereich der Windenergie konnten dank der Förderungen des Bundes und der damit einhergehenden Nachfrage einerseits und des kommerziellen Wettbewerbs zwischen in- und ausländischen Herstellern andererseits die spezifischen Preise einer betriebsfertigen Anlage soweit gesenkt werden, daß an windreichen Standorten unter den heutigen Rahmenbedingungen aus der Sicht der Betreiber bereits ein wirtschaftlicher Betrieb möglich ist. Deutschland ist bei der Nutzung der Windenergie inzwischen weltweit die Nummer 1. Ende 1997 waren 2082 MW in 5193 Anlagen installiert. Im Rahmen eines wissenschaftlichen Meß- und Evaluierungsprogramms werden die Betriebsdaten der im „250 MW-Wind“ Programm des BMBF geförderten rund 1600 Windkraftanlagen zehn Jahre lang erfaßt und jährlich veröffentlicht.

Die Förderaktivitäten auf dem Gebiet der energetischen Nutzung der Biomasse konzentrieren sich vor allem auf die Verbesserung der Technik der Verbrennungs- und Vergasungsanlagen zur Wärme- und Stromgewinnung. Hauptziele der Förderung sind die Kostenoptimierung und die Verbesserung der Umweltwirkungen.

Im Bereich der hydrothermalen Geothermie (Thermalwasser) werden Potentialabschätzungen und spezielle Problemlösungen bei der Nutzung, z. B. bei hohem Salzgehalt, gefördert. Außerdem ist Deutschland zusammen mit anderen europäischen Partnern an der Förderung des europäischen Projekts zum Hot-Dry-Rock-Verfahren (Gesteinswärme) im Elsaß beteiligt, das seit 1985 deutliche Fortschritte gemacht hat und weltweit die besten Ergebnisse zeigt.

### II.1.4 Energieeinsparung

Für FuE-Maßnahmen im Bereich Energieeinsparung werden ca. 5 % des Energieforschungsbudgets des Bundes bereitgestellt. Da die Technologien für die rationelle Anwendung von Energie und die Erhöhung der Energieproduktivität auf vielen Gebieten inzwischen weitgehend entwickelt sind, konzentriert sich die staatliche Forschungsförderung vor allem auf zwei besonders effektive und zukunftsweisende Bereiche, nämlich die Wärmeversorgung von Gebäuden und energiesparende Industrieverfahren.

### II.1.5 Sekundärenergien/Energieumwandlung

Im Bereich Brennstoffzellen, Wasserstoff und elektrische Speicher stellt das BMBF 1998 Projektfördermittel in Höhe von 19 Mio. DM bereit. Die Förderung konzentriert sich zum einen auf die Entwicklung der Hochtemperatur-Brennstoffzellen für den Einsatz im Kraftwerksbereich und zum anderen auf die Niedertemperatur-Brennstoffzelle (PEM) für den mobilen Bereich, die bereits von der Industrie in ersten Prototypen (Pkw, Bus, Gabelstapler) unter realistischen Bedingungen erfolgreich erprobt wird.

Bei der Batterietechnik richten sich die Maßnahmen derzeit auf Nickel-Metallhydrid- und Nickel-Zink-Hochenergie-Akkumulatoren für Elektroautos.

### II.1.6 Kernenergie

Die Kernenergie hat eines der größten Potentiale, um die CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland nachhaltig zu senken. Die Bundesregierung hält daher den Einsatz der Kernenergie gerade auch unter dem Gesichtspunkt des Klimaschutzes weiterhin für erforderlich.

Das in den zurückliegenden Jahrzehnten im Vordergrund der Energieforschungspolitik stehende Ziel, in Deutschland über eine eigenständige Nukleartechnik zu verfügen, ist im wesentlichen erreicht. Aufgrund der umfangreichen Förderung in der Vergangenheit konnte die staatlich finanzierte Forschung und Entwicklung inzwischen deutlich zurückgenommen werden. Im laufenden Haushalt 1998 sind noch ca. 168 Mio. DM vorgesehen. Damit entfallen auf den Bereich der Kernenergie nur noch rund 22 % des Energieforschungsbudgets des Bundes, im Jahr 1990 lag dieser Anteil noch mehr als doppelt so hoch.

Im Vordergrund steht heute die Förderung einer unabhängigen Sicherheitsforschung, die frei von kommerziellen Interessen ist. Diese ermöglicht es Deutschland, in sicherheitstechnischer Hinsicht auch auf die internationale Entwicklung Einfluß zu nehmen. Eine weitere wichtige Aufgabe für die Weiterentwicklung der Kernenergie ist die vorsorgende, anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung zur Langzeitsicherheit bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle.

### II.1.7 Kernfusion

Im Haushalt 1998 sind fast 240 Mio. DM für die Fusion vorgesehen. Damit ist das Gewicht der Fusionsforschung, ausgehend von bereits hohem Niveau in den Vorjahren, weiter gewachsen. Ursache hierfür ist im wesentlichen das Stellarator-Experiment Wendelstein 7-X in Greifswald, dessen Grundstein 1997 gelegt wurde, und die damit verbundene Gründung des Teilinstituts Greifswald des Max-Planck-Instituts für Plasmaphysik (IPP). Von dem Experiment werden wichtige Ergebnisse in Ergänzung zur Haupt-Entwicklungslinie, dem Tokamak, erwartet.

Die Fusionsforschung in Deutschland ist integriert in das gemeinsame europäische Programm im Rahmen der EURATOM, dem sich auch die Schweiz angeschlossen hat. Das anvisierte Langfristziel, mit der kontrollierten Kernfusion eine für friedliche Zwecke noch ungenutzte Energiequelle zu erschließen, ist eine anspruchsvolle wissenschaftliche und technische Herausforderung, die nur in einer langfristig angelegten internationalen Zusammenarbeit bewältigt werden kann. Hierzu bedarf es der Bündelung der weltweit verfügbaren wissenschaftlichen, materiellen und finanziellen Ressourcen. Derzeit arbeiten die EU-Staaten, Japan, Rußland und USA am Entwurf für einen Internationalen Thermonuklearen Experimentellen Reaktor (ITER), in dem über längere Zeit ein brennendes Fusionsplasma erzeugt und aufrecht-erhalten werden soll.

## II.2 Frankreich

### II.2.1 Überblick

Frankreichs Energieforschungspolitik dient in erster Linie den energiepolitischen Zielen Versorgungssicherheit und Wettbewerbsfähigkeit der französischen Industrie. Das Ziel Umweltschutz trat demgegenüber bislang zurück.

Die Energieforschung wird zum einen finanziert aus dem öffentlichen Forschungshaushalt. Andererseits engagieren sich auch die großen staatseigenen Unternehmen und andere staatliche Organisationen, die den französischen Energiesektor insgesamt dominieren, in erheblichem Maße bei Forschung und Entwicklung. Electricité de France (EdF) wandte im Jahr 1995 ca. 3,15 Mrd. FF für FuE auf, Gaz de France (GdF) 400 Mio. FF, das Institut Français du Pétrol (IFP) 1,1 Mrd. FF und das Commissariat à l'Énergie Atomique 3 Mrd. FF, die nicht in den Aufstellungen der IEA über öffentliche FuE-Mittel für Energieforschung erfaßt sind. Die direkten öffentlichen Aufwendungen für Energieforschung betragen im Jahr 1995 ca. 3,4 Mrd. FF (Preisbasis 1996). Die Bedeutung, die die französische Regierung diesem Bereich beimißt, kommt darin zum Ausdruck, daß die Energieforschung bis dahin kaum von allgemeinen Haushaltskürzungen betroffen war. Im Jahr 1996 sind hingegen die staatlichen Aufwendungen für Energieforschung um nahezu 10 % auf ca. 3,1 Mrd. FF gesunken.

Der deutliche Schwerpunkt der Energieforschung in Frankreich liegt im nuklearen Bereich, für den mehr als 90 % des Energieforschungsbudgets bereitgestellt werden. Die Aufwendungen für Forschung zu erneuerbaren Energien und Energieeinsparung sind mit jeweils rund 1 % extrem niedrig. Hier kommt zum Ausdruck, daß Frankreich auch mit Blick auf die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen in erster Linie auf den Einsatz der Kernenergie und der Wasserkraft setzt. Die Forschung zu erneuerbaren Energien und zur Verbesserung der Energieeffizienz spielte deshalb bisher im Gesamtkomplex der französischen Energieforschungspolitik kaum eine Rolle. Die neue französische Regierung hat jedoch Ende 1997 nicht zuletzt angesichts der Ergebnisse der Konferenz von Kioto eine Wende eingeleitet. Danach sollen die erneuerbaren Energien und die Energieeinsparung zukünftig stärker gefördert werden. Die von den drei Ministerien für Forschung, Umwelt und Energie kontrollierte Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) wird daher künftig verstärkt Mittel, die aus der Erhebung von Abgaben stammen, für Demonstrationsvorhaben und Markteinführungshilfen im Bereich erneuerbarer Energien und Energieeinsparung einsetzen.

### II.2.2 Fossile Energien

Aus dem allgemeinen Haushalt fließen nur in geringem Umfang FuE-Mittel in den Bereich fossiler Energien. Im Fall von Öl und Gas waren es 1996 zusammen ca. 190 Mio. FF und bei Kohle ca. 30 Mio. FF, das sind jeweils weniger als 6 % bzw. 1 %.

Diese direkten Zahlungen aus dem Haushalt stellen nur einen kleinen Teil der gesamten Forschungsaufwendungen bei fossilen Energien dar. Der überwiegende Teil wird von den Ölgesellschaften, der Ausrüstungsindustrie sowie, wie bereits erwähnt, von den staatlichen Einrichtungen IFP und GdF aufgebracht. Neben den Zwecken der Verbesserung der Exploration und der Produktion richtet sich die Forschung auch auf den Entwurf neuer Technologien für emissionsärmere und energiesparende Antriebs- und Motorsysteme. Ähnlich gelagert sind die FuE-Ziele beim Gas, hier wird zudem an der Entwicklung weiterer umweltschonender Einsatzmöglichkeiten gearbeitet, z. B. für gasgetriebene Fahrzeuge.

Die geringen Aufwendungen für Kohleforschung gehen im wesentlichen in die Entwicklung von sauberen Kohletechnologien für den Export.

### II.2.3 Erneuerbare Energien

Bei den erneuerbaren Energien sind die von ADEME aus dem Staatshaushalt geleisteten Forschungsaufwendungen seit Jahren rückläufig. Sie erreichten 1996 noch knapp 30 Mio. FF, für das laufende Jahr 1998 sind nur noch 21 Mio. FF vorgesehen. Die Forschungsarbeiten zielen vor allem auf Kostenreduktion bei nachwachsenden Rohstoffen aus Biomasse, auf die Optimierung von Komponenten zur dezentralen Stromerzeugung (vorwiegend Photovoltaik, in zunehmendem Maße Windkraft sowie in geringem Umfang Wasserkraft) und die Nutzung der Erdwärme mit Schwergewicht auf Hot-Dry-Rock-Technik. Wie bereits erwähnt, soll ADEME künftig allerdings in stärkerem Maße Mittel, die durch Erhebung von Abgaben vereinnahmt wurden, für Demonstrationsvorhaben und Markteinführungshilfen bereitstellen.

### II.2.4 Energieeinsparung

In diesem Bereich ist es besonders schwierig, zwischen Anreizmaßnahmen zum effizienteren Umgang mit Energie, Demonstrationsvorhaben und FuE zu unterscheiden. Neben ADEME engagieren sich auf diesem Gebiet auch das Verkehrsministerium, EdF und das Petroleum Institut (IFP). Die Ausgaben für FuE-Maßnahmen zur Energieeinsparung betrugen 1996 mit ca. 45 Mio. FF nach stetiger Abwärtsentwicklung real weniger als ein Siebtel des Wertes von 1990, annähernd zu gleichen Teilen verteilt auf die Sektoren Gebäude/Kleinverbrauch, Verkehr und Industrie:

- In der Industrie konzentrieren sich die Maßnahmen auf Energiemanagement und die Entwicklung saubererer und energieeffizienterer industrieller Prozesse.
- Im Verkehr richten sich FuE-Vorhaben auf die Senkung des Energieverbrauchs und der Emissionen im Zusammenhang mit dem Transport von Menschen und Gütern. Entsprechende Maßnahmen betreffen u. a. Mobilität in Ballungsräumen, sparsamere Fahrzeuge, energiesparendes Fahrverhalten, Verbesserung herkömmlicher und Entwurf neuer Antriebssysteme, kombinierten Rad-

Schiene-Transport. EdF und Verkehrsministerium finanzieren zusammen mit der Automobilindustrie die Entwicklung von Elektroautos, die Verbesserung der Batterietechniken, die Durchführung von Demonstrationsvorhaben, darunter das sogenannte City-Auto.

- Bei Gebäuden zielen die Aktivitäten auf die Verbesserung von Materialien, die Ausgestaltung von Standards und Vorschriften sowie auf Demonstrationsvorhaben zur Umrüstung bestehender öffentlicher und privater Gebäude.
- FuE für die Elektrizitätswirtschaft erfolgt fast ausschließlich im Staatsunternehmen EdF. Die meisten Vorhaben beschäftigen sich mit den Übertragungsnetzen und elektrischer Ausrüstung.

ADEME weist im Budget für 1998 lediglich noch ca. 12 Mio. FF für Forschung zur Steigerung der Energieeffizienz aus. Allerdings gilt hier zur Erschließung zusätzlicher Finanzierungsquellen für Demonstrationsvorhaben und Markteinführungshilfen ähnliches wie im Bereich der erneuerbaren Energien.

### II.2.5 Sekundärenergien/Energieumwandlung

Auch auf diesem Gebiet sind in erster Linie die großen staatlichen Unternehmen EdF und GdF tätig. Ihre begrenzten Anstrengungen richten sich vor allem auf die Entwicklung von Brennstoffzellen.

### II.2.6 Kernenergie

Das Schwergewicht der französischen Energieforschung liegt trotz eines Rückgangs um nahezu 12 % von 1995 auf 1996 nach wie vor auf der Kernenergie, für die 1996 noch 2,5 Mrd. FF aus dem Forschungshaushalt bereitgestellt wurden. Gegenstand der Forschung sind der Brennstoffkreislauf, die Reaktorentwicklung, die Reaktorsicherheit und bislang die Brütertechnologie, die jedoch mit Aufgabe des Schnellen Brutreaktors Superphénix stark reduziert wurde. Den größten Anteil an der Kernenergieforschung haben mit ca. 40 % Aktivitäten im Bereich Brennstoffkreislauf. Sie reichen von der Urananreicherung über die Brennelementfertigung, die Trennung und Umwandlung langlebiger radioaktiver Elemente bis hin zur Endlagerung radioaktiver Abfälle.

In der Reaktortechnik richten sich die Maßnahmen auf die Verlängerung der Lebensdauer laufender Reaktoren auf 40 Jahre und mehr, die Verbesserung des MOX-Einsatzes in bestehenden Kraftwerken und die Entwicklung des neuen Druckwasserreaktors (EPR) als deutsch-französisches Gemeinschaftsprojekt.

Untersuchungen zur nuklearen Sicherheit konzentrieren sich auf ein besseres Verständnis der Abläufe im Normalbetrieb sowie bei Störfällen von Reaktoren, auf die gesundheitlichen Auswirkungen von Strahlung (Strahlenschutz) sowie auf den Rückbau von alten Nuklearanlagen.

### II.2.7 Kernfusion

Die Aufwendungen für Kernfusion waren in den neunziger Jahren relativ stabil und lagen 1996 bei ca.

280 Mio. FF. Die Forschung erfolgt im Rahmen des europäischen Fusionsprogramms im Vorfeld des ITER-Projektes.

## II.3 Großbritannien

### II.3.1 Überblick

Die britische Technologiepolitik vertraut in hohem Maße auf die Kräfte des Marktes. Sie betont die Verantwortung der Industrie für die Entwicklung neuer Technologien und sieht die Rolle des Staates im Innovationsprozeß eher in der Beseitigung von Entwicklungshemmnissen als in direkter FuE-Förderung. Die Regierung beschränkt sich daher weitgehend darauf, „best practice“ zu ermutigen und die Nutzung von neuen Technologien zu erleichtern. Direkte Förderung sollte nur in den Fällen gewährt werden, in denen die Märkte unzureichend funktionieren. Dies spiegelt sich auch wider in der Höhe der öffentlichen Aufwendungen für Energieforschung, die mit ca. 50 Mio. £ im Haushaltsjahr 1995/96 real nur noch ein Zehntel des Niveaus von 1982 ausmachen. Bezogen auf das Bruttoinlandsprodukt nehmen sie den niedrigsten Wert unter den größeren OECD-Staaten ein. In den kommenden Jahren sollen sich die FuE-Mittel zu annähernd gleichen Teilen auf den Bereich der Nuklearforschung mit dem Schwerpunkt Fusion und auf das Gebiet der nicht nuklearen Forschung mit dem Schwerpunkt erneuerbare Energien verteilen.

### II.3.2 Fossile Energien

Im letzten Jahr des 1997/98 auslaufenden aktuellen Programms zu Clean Coal Technologies stehen 3,5 Mio. £ für FuE zu Verfügung, dies bedeutet einen Rückgang auf die Hälfte des Wertes von 1995/96. Gegenstand der Förderung sind in erster Linie saubere Kohlekraftwerke. Im Sommer 1998 sollen die Grundzüge eines neu aufgelegten Clean Coal Technology Programmes bekanntgegeben werden. Der Schwerpunkt künftiger Aktivitäten wird voraussichtlich auf Technologietransfer und Informationsverbreitung liegen. Ausrichtung und Umfang künftiger FuE-Aktivitäten werden auch vom Ergebnis einer laufenden Programmevaluation abhängen.

Weitere Fördermaßnahmen im Bereich fossiler Energien betreffen Öl und Gas (jeweils ca. 2 Mio. £ im Haushaltsjahr 1997/98 sowie im Folgejahr). Ein Hauptansatzpunkt liegt in der Verbesserung der Gaskraftwerke. Ziel ist es, den Wirkungsgrad durch Einsatz von kombinierter Gas-/Dampfturbinentechnik auf 60 % zu steigern und damit die Wettbewerbsfähigkeit des Sektors insgesamt zu erhöhen.

### II.3.3 Erneuerbare Energien

Die FuE-Mittel für erneuerbare Energien sind von 25,2 Mio. £ im Haushaltsjahr 1993/94 auf 11 Mio. £ in 1997/98 zurückgefahren worden, dieses Niveau ist auch für das kommende Haushaltsjahr vorgesehen. Sie umfassen damit ungefähr ein Viertel der gesamten Energieforschungsmittel und fließen in den Bereich Windenergie und Biomasse sowie in die Photovoltaik, wo sich die Anstrengungen vor allem darauf

richten, die Kosten für Fertigung und Installation durch Entwicklung von Dünnschichtmaterialien zu senken und damit die Energieerzeugung näher an die Wettbewerbsfähigkeit heranzuführen.

Darüber hinaus wird die Entwicklung auf dem Gebiet erneuerbarer Energien indirekt durch die Non-Fossil Fuel Obligation (NFFO) gefördert, die die Elektrizitätsverteilungsunternehmen verpflichtet, eine jeweils für die einzelnen Energiequellen festgesetzte Menge Elektrizität aus erneuerbaren Energien zu kaufen und ins Netz einzuspeisen, wobei die Mehrkosten aus der Non-Fossil-Fuel-Abgabe bezahlt werden, die die Versorgungsunternehmen entrichten müssen. Im Lauf des NFFO-Verfahrens lädt die Non-Fossil Purchasing Agency (NFPA) im Auftrag der zwölf regionalen Elektrizitätsversorgungsunternehmen die Erzeuger von Strom aus erneuerbaren Energien zur Abgabe von Angeboten ein. Die NFPA unterrichtet das Wirtschaftsministerium über die eingegangenen Angebote und dieses setzt dann für jedes regionale Versorgungsunternehmen die abzunehmenden Elektrizitätsmengen aus den einzelnen erneuerbaren Energiequellen fest. Auf diese Weise kommt es zu einem Wettbewerb der Stromanbieter und zu Anreizen für Innovation bei der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien.

### II.3.4 Energieeinsparung

Auf dem Gebiet der Energieeinsparung erfolgt Förderung im Rahmen des laufenden Best Practice Programms, dessen finanzielle Ausstattung jedoch abnimmt. Besondere Betonung liegt auf der Effizienzsteigerung bei energieintensiven industriellen Verfahren und erhöhter Energieeffizienz bei Gebäuden, einschließlich besserer Anpassung an das menschliche Verhalten. Die jährlichen Aufwendungen sind jedoch mittlerweile auf ca. 1 Mio. £ abgesunken.

### II.3.5 Kernenergie

Im nuklearen Bereich sind die Aufwendungen nach Beendigung des Brüterprogramms, für das 1993/94 noch über ein Viertel der gesamten Energieforschungsmittel aufgewendet wurden, auf gegenwärtig rund 7 Mio. £ pro Jahr zurückgegangen. Zu den inhaltlichen Schwerpunkten gehört die Forschung zu Sicherheit und Gesundheit, für die auch in den kommenden Jahren jeweils über 2 Mio. £ verwandt werden sollen, und der Bereich Safeguards (jährlich 1 Mio. £).

### II.3.6 Kernfusion

Für die Fusionsforschung wird gegenwärtig etwa ein Drittel des Energieforschungsbudgets aufgewendet. Die Beträge bewegen sich seit Anfang der neunziger Jahre im Bereich von jährlich 14 bis 17 Mio. £ und sollen auch künftig in diesem Umfang bereitgestellt werden. Die britische Fusionsforschung richtet sich auf das Tokamak-Prinzip aus und ist eingebettet in das Europäische Fusionsprogramm. Großbritannien ist auch Gastland des europäischen Großprojekts JET.



## II.4 Italien

### II.4.1 Überblick

Die italienische Energieforschungspolitik zielt darauf ab, einen Beitrag zu den energiepolitischen Zielen Versorgungssicherheit und Umweltschutz zu leisten. Sie richtet sich vor allem auf die Erhöhung der Energieeffizienz und die Diversifizierung der Energieerzeugung. Die gegenwärtig laufenden Vorhaben sind Bestandteil eines dreijährigen Aktionsplans für die Jahre 1996 bis 1998 und sind noch nicht nennenswert vom Ergebnis der Konferenz in Kioto beeinflusst. In den letzten Jahren sind die staatlichen Aufwendungen für Energieforschung drastisch zurückgeführt worden. Sie erreichen 1998 nur noch 430 Mrd. Lire (ca. 240 Mio. US\$), das ist real weniger als ein Drittel des Niveaus von 1988. Die Kernenergie einschließlich Fusion stellt mit 188 Mrd. Lire den bei weitem größten Anteil am Energieforschungsprogramm, auch wenn er in den letzten zehn Jahren von über 90 % auf 44 % gesunken ist. Das Gewicht der Forschung im Bereich Energieeinsparung und erneuerbare Energien ist hingegen seit dem Ende der achtziger Jahre deutlich gestiegen, obwohl in absoluten Werten keine erheblichen Veränderungen zu verzeichnen waren. Ein hoher Anteil von nahezu 15 % der FuE-Mittel entfällt schließlich auf Ausgaben für Informationsverbreitung, Systemanalysen und sonstige Studien (63 Mrd. Lire in 1998).

### II.4.2 Fossile Energien

Seit 1990 fließen keine öffentlichen Forschungsgelder mehr in den Bereich fossile Energien. Kleinere Beiträge zu grundlegenden Untersuchungen von Verbrennungsprozessen sind dem Bereich der rationalen Energieverwendung zuzurechnen. Forschung zu fossilen Energien erfolgt statt dessen in den großen staatlichen und teilweise in privaten Unternehmen.

### II.4.3 Erneuerbare Energien

Seit 1993 haben die Fördermittel lediglich bei der Forschung zu erneuerbaren Energien einen nennenswerten Zuwachs erfahren, wenn auch die Tendenz seit 1996 wieder rückläufig ist. Hierfür werden 1998 mit knapp 61 Mrd. Lire ca. 14 % des Energieforschungsbudgets aufgewendet. Gut die Hälfte entfällt auf die Photovoltaik, bei der sich die Vorhaben mit der Verbesserung herkömmlicher Zellen (kristallines Silizium) und der Entwicklung neuartiger Zellen (Dünnschicht) sowie der Optimierung des Fabrikationsprozesses beschäftigen. Darüber hinaus beschäftigt man sich mit Photovoltaiksystemen und Systemkomponenten für spezielle Anwendungen.

Die Forschung im Bereich Biomasse ist mittlerweile an die zweite Position bei erneuerbaren Energien vorgerückt (ca. 15. Mrd. Lire). Die Arbeiten konzentrieren sich auf die Verwertung tierischer und pflanzlicher Abfälle sowie auf den Einsatz spezieller Pflanzen zur Erzeugung von biologischen Treibstoffen und von Strom.

Die restlichen Forschungsmittel für die erneuerbaren Energien fließen in die Entwicklung der Windenergie. Ausgehend von einem sehr niedrigen Niveau hat sich die Mittelzuweisung von 1994 bis 1996 real mehr als verzehnfacht, ist jedoch bis zum laufenden Jahr 1998 um beinahe die Hälfte auf nunmehr gut 10 Mrd. Lire gesunken. Im Vordergrund steht die technische und wirtschaftliche Fortentwicklung mittelgroßer Anlagen (250–300 kW).

Die Geothermie erhält keine weitere Förderung, da die Technik als ausgereift gilt. Immerhin nimmt Italien bei der Erzeugung von Elektrizität aus Erdwärme mit 3 436 GWh weltweit eine Spitzenstellung ein.

### II.4.4 Energieeinsparung

Auf den Bereich Energieeinsparung entfallen seit Jahren Forschungsmittel in der Größenordnung von ca. 90 Mrd. Lire, dies ist 1998 ein Anteil von 21 % an der gesamten Energieforschung. Ein großer Teil der Vorhaben beschäftigt sich mit Querschnittstechniken, z. B. Wärmetauschern. Andere Projekte befassen sich mit der Entwicklung innovativer industrieller Prozesse, die u. a. einen Beitrag zur Verbesserung der Energieeffizienz leisten können.

Im Verkehrssektor zielen Vorhaben auf die Verringerung der Emissionen, indem der Verkehrsfluß verbessert wird, neue Batterie- und Hybridantriebe für Fahrzeuge entwickelt sowie neuartige Treibstoffe hervorgebracht werden.

Energieeinsparung bei Gebäuden ist ein weiterer Ansatzpunkt. Hierbei geht es zum einen um die Verbesserung der Energieeffizienz in bestehenden Gebäuden, zum andern um neue Gebäude, die bereits in der Planung auf die Ausnutzung von Energiesparpotentialen, z. B. in Form von Solarwärme, ausgelegt werden sollen.

### II.4.5 Sekundärenergien/Energieumwandlung

Im Bereich der Übertragung, Verteilung und Speicherung von Strom wird FuE vorwiegend durch die Industrie finanziert. Öffentlich gefördert wird die Entwicklung von Techniken mit höheren Wirkungsgraden, z. B. Brennstoffzellen und Wärmerückgewinnungssysteme, sowie der Einsatz von Wasserstoff als Sekundärenergieträger zum Transport und zur Speicherung. Die Förderung bewegt sich gegenwärtig in der Größenordnung von 28 Mrd. Lire (6,5 % der gesamten staatlichen Energieforschung).

### II.4.6 Kernenergie

Seit Beginn des De-facto-Moratoriums über die weitere Nutzung der Kernenergie im Jahr 1987 beschränkt sich die Energieforschung im Bereich der Kernspaltung im wesentlichen auf innovative Reaktorkonzepte mit erhöhter passiver Sicherheit sowie auf den Brennstoffkreislauf. Die Forschung erfolgt vor allem im Rahmen der Teilnahme an Projekten internationaler Zusammenarbeit. Der Umfang der Aktivitäten beträgt 1998 mit ca. 60 Mrd. Lire weniger als ein Zehntel des Wertes von 1987.

#### II.4.7 Kernfusion

Der größere Teil der nuklearen Forschungsaktivitäten richtet sich auf die Kernfusion, die sich seit 1996 auf dem Niveau von knapp 130 Mrd. Lire stabilisiert hat. Das ist im Vergleich zum Höchstwert von ca. 215 Mrd. Lire in 1988 (in Preisen von 1996) ein weit weniger dramatischer Rückgang als bei der Kernspaltung. Die Forschung erfolgt im Rahmen der EURATOM-Aktivitäten und richtet sich im wesentlichen auf künftige Beiträge zum ITER-Projekt.

### II.5 Japan

#### II.5.1 Überblick

Japan verfügt über das größte staatliche Energieforschungsprogramm unter den OECD-Staaten. Mit 437,7 Mrd. Yen (Gegenwert ca. 4 Mrd. US\$) im Jahr 1997 übertraf es das öffentliche Energieforschungsbudget der USA (2,1 Mrd. \$) bei weitem. Der bisher stetige Aufwärtstrend des Energieforschungsbudgets ist allerdings seit 1996 gebrochen, für 1998 ist im zweiten Jahr nacheinander ein Rückgang von ca. 5 % zu verzeichnen. Ähnlich wie in Frankreich fällt die hohe Gewichtung der Kernenergie auf, für die zusammen mit der Kernfusion 75 % der Energieforschungsmittel aufgewendet werden. Hier spiegelt sich das Hauptziel der japanischen Energiepolitik wider, das in der Sicherung der Energieversorgung durch Reduzierung der Importabhängigkeit, vor allem bei Öl, besteht. Zugleich wird hiermit auch dem Bemühen um Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen Rechnung getragen. Im nichtnuklearen Bereich sind die FuE-Aktivitäten gebündelt in dem „New Sunshine Programme“, das vom Ministry for Trade and Industry (MITI) und der nachgeordneten Agency for Industrial Science and Technology (AIST) für den Zeitraum 1993 bis 2020 aufgelegt wurde. Für das gesamte Programm, das erneuerbare Energien, Energieeinsparung, Clean Coal Technologien, Keramik-Gasturbinen, Brennstoffzellen, Supraleitung u. a. umfaßt, sollen bis zum Jahr 2020 jährlich über 50 Mrd. Yen aufgewendet werden.

#### II.5.2 Fossile Energien

Im Bereich fossiler Energien, für den 1997 insgesamt 38,4 Mrd. Yen aufgewendet wurden, lagen die Schwerpunkte auf der Kohleumwandlung, d. h. der Kohleverflüssigung und Kohlevergasung, sowie auf dem Gebiet des Transports, der Lagerung und der Veredelung von Öl und Gas. Außerdem gab es Arbeiten zu keramischen Hochtemperatur-Gasturbinen, die bei Prozeßtemperaturen von bis zu 1350 °C eine drastische Erhöhung des Wirkungsgrades ermöglichen und in Kombikraftwerken eingesetzt werden können.

#### II.5.3 Erneuerbare Energien

Die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten für erneuerbare Energien im Vergleich zu Maßnahmen im Bereich fossiler und nuklearer Energien sind mit 13 Mrd. Yen bzw. 3 % im Jahr 1997 verhältnismäßig

gering. Der Schwerpunkt der japanischen Aktivitäten für erneuerbare Energien liegt eindeutig in der Photovoltaik. Hier richten sich die Anstrengungen vor allem auf die Herstellung preiswerterer PV-Zellen, auf die Entwicklung photovoltaischer Anwendungssysteme und auf die Nutzung von Solarwärme für Heiz- und Kühlzwecke in der Industrie. Das derzeit laufende „70 000-Dächer-Photovoltaik-Programm“ hat sowohl die Senkung der Kosten zum Ziel als auch die energetische Erschließung schwer zugänglicher Gebirgs- und Inselregionen.

Da Japan über günstige geologische Voraussetzungen verfügt, kommt auch der Nutzung der Geothermie größere Bedeutung zu. Im Vordergrund der FuE-Arbeiten stehen die Verbesserung der Erkundungsmethodik, die Entwicklung der Bohr- und Meßtechnik und Technologien zur Ausbeutung bislang ungenutzter Potentiale, z. B. in heißem Tiefengestein (Hot-Dry-Rock).

Forschung im Bereich der Windenergie spielt eine eher untergeordnete Rolle. Kleinere Arbeiten beschäftigen sich mit der Entwicklung und dem Test von für Japan geeigneten Großanlagen.

#### II.5.4 Energieeinsparung

Die japanische Regierung erwartet in den kommenden Jahren einen Anstieg der Nachfrage nach Energie sowohl in der Industrie als auch in den privaten Haushalten, der zurückzuführen ist auf die Veränderung der Industriestruktur und des privaten Lebensstandards. Der größte Teil dieses Anstiegs wird auf Klimaanlage und Warmwasserversorgung entfallen. Die FuE-Politik hat die Aufgabe, dafür zu sorgen, daß diese Nachfrage nach thermischer Energie gedeckt werden kann aus bislang brachliegenden industriellen Potentialen. Dazu soll die Nutzung industrieller Abwärme im mittleren und niedrigen Temperaturbereich untersucht werden wie auch die Möglichkeit, sonstige bislang ungenutzte thermische Energie in Industriezonen nutzbar zu machen.

Ein weiterer Beitrag besteht in den Bemühungen zur Vermeidung von Übertragungsverlusten und bei der Wärmeversorgung öffentlicher Einrichtungen. Mit der Entwicklung eines mehrstufigen urbanen Energiesystems im Rahmen des Projektes „Eco-Energy City“ soll erreicht werden, das regionale Ungleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage thermischer Energie so auszugleichen, daß der Primärenergieverbrauch bei Sicherung eines hohen Lebensstandards insgesamt gesenkt werden kann.

Insgesamt standen für FuE zur Energieeinsparung 1997 mehr als 33 Mrd. Yen zur Verfügung, für 1998 sieht der Haushalt einen Zuwachs um mehr als 10 % vor.

#### II.5.5 Sekundärenergien/Energieumwandlung

Drittgrößter Einzelbeitrag Im Rahmen des „New Sunshine Programmes“ ist die Entwicklung von Brennstoffzellen (MCFC, SOFC, PEFC). Diese Technologie verspricht einen Beitrag zur Diversifizierung des Brennstoffeinsatzes und zur Senkung der CO<sub>2</sub>-

Emissionen durch hohe Wirkungsgrade in einem breiten Anwendungsgebiet.

Die Speicherung elektrischer Energie ist Ziel eines weiteren Teilprogramms. Dabei stehen zwei Batterietypen auf Lithiumbasis im Vordergrund, zum einen eine langlebige Batterie zum stationären Einsatz. Angestrebt wird eine dreimal höhere Energiedichte als bei herkömmlichen Blei-Säure-Batterien und eine Lebensdauer von ungefähr 10 Jahren. Zum anderen soll ein Batterietyp zum Einsatz in Elektrofahrzeugen mit einer im Vergleich zu Blei-Säure-Batterien 4- bis 5fachen Energiedichte entwickelt werden. Diese Batterie soll eine Lebensdauer von wenigstens 100 000 Fahrkilometern aufweisen und die Betriebskosten der mit ihnen betriebenen Fahrzeuge auf ein Niveau begrenzen, das dem von Fahrzeugen mit Ottomotoren entspricht. Hauptansatzpunkt ist hier die Entwicklung verbesserter Werkstoffe für die Elektroden.

Erwähnung verdienen auch die Anstrengungen zur Förderung der Supraleitung in der Elektrizitätswirtschaft, mit denen die Stabilität der Netze vergrößert und die Effizienz gesteigert werden soll.

Das Projekt WE-NET (World Energy Network) zielt auf den Ausbau eines Netzes, in dem erneuerbare Energien zur Erzeugung von Wasserstoff eingesetzt werden. Besonderes Interesse gilt der Speicherung und dem Transport des Wasserstoffs.

### II.5.6 CO<sub>2</sub>-Fixierung

Möglichkeiten der CO<sub>2</sub>-Fixierung werden ebenfalls im Rahmen des „New Sunshine Programmes“ erforscht. Die Aktivitäten richten sich u. a. auf das Potential von Bakterien, Algen, Korallenriffen und Pflanzen, die in Wüsten eingesetzt werden können. Technologien, die CO<sub>2</sub> in Membranprozessen binden, werden ebenso untersucht wie die Erzeugung von Methanol durch Hydrierung von CO<sub>2</sub> und die Entwicklung leistungsfähiger Katalysatoren.

### II.5.7 Kernenergie

Die Ausgaben für Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Kernspaltung erreichten 1997 mehr als 291 Mrd. Yen, ein Niveau, das abgesehen von leichten Schwankungen seit 1989 gehalten wird. Jeweils ein Drittel des Budgets floß in die Forschung zu Reaktorsicherheit/Umweltschutz und zum Brennstoffkreislauf.

Die Arbeiten im Bereich des Brennstoffkreislaufs beschäftigten sich mit dem Einsatz von Plutonium in Leichtwasserreaktoren, wobei zu Beginn des Programms MOX-Elemente aus europäischer Verarbeitung zum Einsatz kamen. Außerdem gab es Aktivitäten im Zusammenhang mit der Urananreicherung, mit dem Abfallmanagement, mit Untersuchungen zur geologischen Eignung möglicher Lagerstätten und mit der Wiederaufbereitung, wobei die Arbeiten in der Wiederaufbereitungsanlage in Tokaimura seit dem Störfall im März 1997 ruhten.

Für die Brütertechnik wurden 1997 fast 33 Mrd. Yen aufgewendet. Auch nach Prüfung der Vorgänge um

den Störfall im schnellen Brüter in Monju Ende 1995 kommt die Atomic Energy Commission zu der Ansicht, die FuE-Arbeiten im Bereich der Brütertechnik weiterzuführen. Allerdings sollen Management und Organisation der für die Störfälle in Monju und Tokaimura verantwortlichen Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation (PNC) von Grund auf neu gestaltet werden, um das Vertrauen der japanischen Öffentlichkeit in die Zuverlässigkeit der Nuklearwirtschaft zurückzugewinnen.

Für FuE-Arbeiten zu Leichtwasserreaktoren standen 1997 gut 20 Mrd. Yen und für die HTR-Entwicklung, die im gasgekühlten High-Temperature Engineering Test Reactor (HTTR) des Japan Atomic Energy Research Institute durchgeführt wird, 18 Mrd. Yen zur Verfügung.

### II.5.8 Kernfusion

In der Fusionsforschung richten sich die japanischen Anstrengungen auf die Entwicklung von Tokamak-Reaktoren und von Stellaratoren (Large Helical Device). Im Jahr 1997 standen insgesamt ca. 38 Mrd. Yen für die Fusion zu Verfügung, für 1998 ist ein Rückgang auf ca. 30 Mrd. Yen geplant. Ein Teil der Arbeiten erfolgt im Zuge der japanischen Beteiligung am ITER-Projekt.

## II.6 Kanada

### II.6.1 Überblick

Seit Mitte der achtziger Jahre sind die von der kanadischen Bundesregierung und den Provinzen eingesetzten öffentlichen Mittel für Energieforschung um mehr als die Hälfte auf ca. 300 Mio. Can\$ im Haushaltsjahr 1996/97 zurückgegangen. Dieser Abwärtstrend setzt sich infolge der allgemeinen Kürzungen im kanadischen Staatshaushalt im laufenden Fiskaljahr 1997/98 mit einem weiteren Rückgang um beinahe 10% auf 275 Mio. Can\$ fort. Angesichts der sinkenden Finanzausstattung hat das Department for National Resources Canada FuE-Aktivitäten zur Förderung einer nachhaltigen Entwicklung unter Ein-schluß eines Treibhausgas-Managements als prioritär identifiziert. Die nichtnuklearen Forschungsaktivitäten sind dabei im „Program for Energy Research and Development“ (PERD) zusammengefaßt, das im Zuge dieser Prioritätensetzung neu ausgerichtet wurde. Die Priorität liegt trotz eines Rückgangs von 48% auf 40% am gesamten Energieforschungsbudget nach wie vor bei der Kernenergie.

### II.6.2 Fossile Energien

Die Forschung und Entwicklung im Bereich fossiler Energien hat bis zum Beginn der neunziger Jahre einen ähnlich markanten Umfang eingenommen wie die Kernenergieforschung. Seither ist ein deutlicher Rückgang auf ein knappes Viertel des Energieforschungsbudgets zu verzeichnen, wobei sich der Schwerpunkt zu Lasten der Kohle immer mehr zu Öl und Gas verschoben hat.

Die Kohleforschung konzentriert sich auf die Kontrolle von Umweltschadstoffen beim Kohleinsatz und auf die Untersuchung gesundheitsrelevanter Auswirkungen. Gegenstand weiterer Forschungsarbeiten werden die Entwicklung von Werkzeugen zum Ressourcenmanagement, die Kohleverarbeitung einschließlich Prozeßkontrolle, die Emission von Spurenelementen, verbesserte Steuerungsstrategien für Kraftwerke und die Entwicklung nationaler Emissionsstandards sein.

Das FuE-Programm für Ölsande und Schweröl befaßt sich vor allem mit der Auswirkung der Produktion auf die Umwelt, darunter die Emissionen, sowie mit der Abfallbehandlung und -verwertung. FuE-Arbeiten auf dem Gebiet von Öl und Gas richten sich in erster Linie auf die Entwicklung von Umweltvorschriften und Standards.

Weiterer Schwerpunkt bei Öl und Gas ist die Erschließung und der Ausbau der Förderung an der Ostküste und im Norden. Hierzu sollen neue Standards und Regeln entwickelt werden, die eine sichere und auf den Schutz dieser ökologisch sensiblen Regionen gerichtete Ausbeutung der Vorkommen ermöglichen.

### II.6.3 Erneuerbare Energien

Der Anteil erneuerbarer Energien wurde trotz insgesamt rückläufigem Energieforschungsbudget in den neunziger Jahren leicht gesteigert und liegt nun bei knapp 5%. Die Maßnahmen zielen darauf ab, die Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit der Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen zu erhöhen und die Investitions- und Betriebskosten zu senken, vor allem im Bereich kleiner Wasserkraftwerke. Die Förderung großer Hydrokraftwerke läuft hingegen aus, da die Technik als ausgereift gilt. Daneben spielen auch Wind- und Photovoltaikanlagen noch eine Rolle. Ziel ist eine Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit dieser Anlagen und eine höhere Marktdurchdringung.

Forschungsanstrengungen im Bereich Biomasse haben ihren Schwerpunkt in der Optimierung der Verbrennungsmethoden zur Sicherung einer höheren Effizienz und zur Senkung der Emissionen. Zudem soll die Umwandlung von Biomasse in flüssige Brennstoffe wesentlich verbessert werden, um eine wirtschaftlichere Nutzung zu ermöglichen.

Projekte zum Thema Energie aus Müll und Abfällen befassen sich in erster Linie mit der Erhöhung der Energieeffizienz bei der Abfallverwertung, insbesondere auch mit der Verbesserung der Verbrennungsprozesse in kleinen Systemen, und mit Maßnahmen zur Kontrolle der Deponiegase.

FuE-Arbeiten zur Wasserstoffherstellung aus erneuerbaren Energien richten sich auf die Entwicklung effizienterer und weniger kapitalintensiver Elektrolysemethoden, auf die Lagerung und den Transport von Wasserstoff sowie auf den Einsatz kleiner integrierter Energieversorgungssysteme auf Wasserstoffbasis.

### II.6.4 Endenergie/Energieeinsparung

Der Anteil der FuE-Maßnahmen zur Energieeinsparung am öffentlichen Energieforschungshaushalt liegt seit einigen Jahren bei 16%. Die Vorhaben zielen darauf ab, eine Wissensbasis für Technologien, Standards und Vorschriften zur effizienten Energienutzung zu schaffen sowie in Zusammenarbeit mit dem privaten Sektor die Entwicklung und den Einsatz marktgerechter Technologien zu ermöglichen.

Bei Gebäuden sollen sich die Maßnahmen verstärkt auf Geschäftsgebäude sowie auf die Entwicklung von Technologien für den Bereich kleinerer Bauten richten. FuE-Aktivitäten aus dem Bereich passive Solarenergienutzung sollen reduziert und auf fortschrittliche Fensterprodukte ausgerichtet werden. Elektroheizung, elektrische Warmwasserbereitung und ähnliches sollen nicht mehr gefördert werden.

Im Bereich der Industrie sieht das kanadische Energieforschungsprogramm die Entwicklung verbesserter Verbrennungs- und Wärmesteuerungstechnologien zur Reduzierung des Energiebedarfs vor.

Zum Verkehr gibt es Untersuchungen vor allem zur Erhöhung der Energieeffizienz durch ein verbessertes Verkehrsmanagement, Schaffung von Standards und Entwicklung neuer Baugruppen. Eine neue Initiative beschäftigt sich mit der Bildung und Ablagerung spezieller Emissionen und ihrer Auswirkungen auf die Gesundheit. Kanada beteiligt sich darüber hinaus an der US Partnership for a New Generation Vehicle (PNGV).

### II.6.5 Klimaforschung/CO<sub>2</sub>-Fixierung

Die kanadische Forschung zum Klimawandel hat ihren Schwerpunkt von der Voraussage und Bestimmung von Klimaveränderungen verlagert auf die Untersuchung der Einflüsse von Klimaveränderungen auf den kanadischen Energiesektor, z.B. bez. der Verfügbarkeit von Wasser für die mit Wasserkraft hergestellte Elektrizität, sowie auf Möglichkeiten zur CO<sub>2</sub>-Reduktion. Arbeiten zur Entwicklung von Technologien für die Abtrennung von Treibhausgasen und deren Entsorgung stehen noch am Anfang und konzentrieren sich gegenwärtig vor allem auf die Rolle der Wälder als CO<sub>2</sub>-Senken.

### II.6.6 Kernenergie

Den größten Anteil an den kanadischen Ausgaben für Energieforschung hat mit 40% das Nuklearprogramm. Dieses Programm wird koordiniert von der Atomic Energy of Canada Ltd. (AECL). Die grundlegenden wissenschaftlichen Aktivitäten wurden in den letzten Jahren auf den kanadischen Deuterium-Uran-Reaktor (CANDU) konzentriert, wobei andere Programmteile zurückgefahren, geschlossen oder kommerzialisiert wurden. Entsprechend wurden die Mittel für das Nuklearprogramm von 157 Mio. Can\$ im Haushaltsjahr 1995/96 auf 110 Mio. Can\$ in der laufenden Abrechnungsperiode reduziert.

### II.6.7. Kernfusion

Kanada hat seine Aktivitäten im Bereich der Fusionsforschung im vergangenen Haushaltsjahr eingestellt. Ein gewisses Interesse besteht lediglich noch auf Provinzebene (Ontario) im Zusammenhang mit der Frage eines ITER-Standortes.

## II.7 Rußland

### II.7.1 Überblick

Die finanzielle Ausstattung der russischen Energieforschungspolitik ist sehr begrenzt, Forschung und Entwicklung können daher nur schwerlich einen ausreichenden Beitrag zur Erreichung der prioritären Ziele der nationalen Energiepolitik leisten, zu denen die Steigerung der Energieeffizienz in allen Sektoren und die Verminderung der Belastungen für die Umwelt gehören. Ein großer Teil der Finanzmittel dient zudem vor allem dazu, die Grundfinanzierung der wichtigsten Forschungsinstitute zu sichern. Der Hauptteil der russischen Forschungsgelder im Energiebereich fließt in das Programm „Saubere Energien“, dessen finanzielle Ausstattung (1994 weniger als der Gegenwert von 2 Mio. US\$) jedoch so bescheiden ist, daß angesichts der Vielzahl an Teilprojekten (über 40) und des breiten thematischen Ansatzes die Wirkungen nicht überschätzt werden dürfen.

### II.7.2 Fossile Energien

Im Bereich fossiler Energien steht die Entwicklung der Kraftwerkstechnik im Vordergrund. Angestrebt wird die deutliche Verbesserung der Wirkungsgrade in Kraftwerken mit Kohlen-, Erdgas- und Erdölfeuerung sowie der Einsatz moderner Methoden zur Rauchgasreinigung. Außerdem sollen Verfahren zur Vorbereitung, Transport, Lagerung und Verbrennung von Kohle-Wasser-Gemischen in Wärmekraftwerken entwickelt werden. Weitere Arbeiten beschäftigen sich mit der Gewinnung neuer Energieträger aus unterirdischer Kohlevergasung und mit der Nutzung von Gas aus den Erdölfeldern Westsibiriens.

### II.7.3 Erneuerbare Energien

Zur Nutzung der Solarwärme soll die Entwicklung von Solarzellen gefördert werden, die zur Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser eingesetzt werden können. Geplant wird die Herstellung großer Stückzahlen zur Verwendung in Einfamilienhäusern und in der Landwirtschaft.

Zentrales Ziel der Anstrengungen auf dem Gebiet der Photovoltaik ist die Senkung der Produktionskosten. Die Arbeiten richten sich auf Module auf der Basis von amorphem, mono- und polykristallinem Silizium. Während kurzfristig eher die Anwendung in kleineren Anlagen zu erwarten ist, richten sich die langfristigen Überlegungen auf größere Anlagen im Megawattbereich.

Bei der Windenergie ist die Entwicklung von Windanlagen mit Kapazitäten von 8 bis 250 kW vorgesehen, die teilweise in Windparks zum Einsatz kommen

sollen. Angestrebt wird die spätere Herstellung großer Stückzahlen.

Zur energetischen Nutzung von Biomasse und Müll sollen Bioreaktoren entwickelt werden, die auf dem Wege der Vergasung Energie aus den Abfällen der Landwirtschaft, der Holz-, Papier- und Bauindustrie sowie aus städtischem Müll gewinnen können. In nächster Zukunft ist der Bau von Demonstrationsanlagen geplant.

Auf dem Gebiet der Geothermie sollen u. a. die Nutzung von hoch mineralisierten Quellen und die Mehrfachnutzung des Wassers untersucht werden. Hierzu ist insbesondere auch die Bereitstellung der geeigneten Erkundungs- und Bohrtechnik erforderlich.

### II.7.4 Energieeinsparung

Die Bemühungen zur rationellen Energieverwendung konzentrieren sich vor allem auf verbesserte Fertigungsprozesse in der großenteils sehr energieintensiven Industrie. Durch Untersuchungen zum Einsatz neuer Materialien und zur Optimierung der Prozeßführungen sollen Energieeinsparungen und damit verminderte Emissionen erreicht werden.

Im Verkehrsbereich sollen ökologisch, wirtschaftlich und technisch optimierte Transportmittel entwickelt werden, darunter Hochgeschwindigkeitszüge für den Personenfernverkehr, Züge mit Linearmotor für den Personennahverkehr, Flugzeuge mit Erdgasantrieb sowie emissionsärmere Kraftfahrzeuge unter Nutzung neuer Materialien und elektronischer Systeme.

### II.7.5 Sekundärenergien/Energieumwandlung

Gegenstand der FuE-Arbeiten sind die Synthese von Treibstoffen aus gasförmigen Kohlenwasserstoffen, die Brennstoffzellentechnologie sowie die Entwicklung hocheffizienter Methoden zur Wasserstofferzeugung aus Wasser und Methan. Neuartige Membrantechniken sollen die Separierung und Reinigung von Wasserstoff aus Industriegasen ermöglichen.

### II.7.6 Klimaforschung/CO<sub>2</sub>-Fixierung

Die Untersuchungen im Rahmen des Klimaschutzprogramms richten sich auf ein besseres Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Bio- und Technosphäre. Der Einfluß der Ozeane und Meere auf das Klima sowie die Auswirkungen anthropogener Schadstoffe auf die Umwelt sind Gegenstand der Forschungsarbeiten. Die Forschung soll dazu beitragen, im regionalen und globalen Rahmen Grenzwerte für Eingriffe in die Biosphäre und ihre Untersysteme zu setzen sowie Vorschläge für den wirtschaftlichen und ökologisch verantwortbaren Gebrauch der Energieressourcen zu machen.

### II.7.7 Kernenergie

Im Bereich der Kernenergie richten sich die russischen FuE-Anstrengungen auf die Entwicklung von

Nuklearanlagen mit verbesserter Sicherheit. Im Arbeitsgebiet „sichere Kernkraftwerke“ wird eine neue Generation von Druckwasserreaktoren entwickelt. Weitere Arbeiten beschäftigen sich mit unterirdischen Reaktoren und mit inhärent sicheren Reaktorkonzepten. Rußland hält außerdem an der Brütertechnik fest, die im Forschungsreaktor in Obeninsk und im Versuchskraftwerk in Dimitrowgrad weiterentwickelt wird. Die beabsichtigte Ausweitung der Brütertechnik ist jedoch durch die knappe Finanzausstattung gefährdet. Weitere Forschungen richten sich auf die Entsorgung radioaktiver Abfälle.

### II.7.8 Kernfusion

Rußland ist den IEA-Abkommen zur Durchführung der Fusionsforschung beigetreten. Sie betreffen das Stellaratorkonzept sowie Wirtschaftlichkeits-, Umwelt- und Sicherheitsaspekte der Fusionsenergie. Außerdem ist Rußland einer der Partner am internationalen Vorhaben zur Errichtung des Versuchsreaktors ITER.

## II.8 USA

### II.8.1 Überblick

Der zwischen Präsident Clinton und dem Kongreß vereinbarte Ausgleich des Bundeshaushalts hat auch im Bereich der Energieforschung zu Budgetkürzungen geführt. Nach knapp 3 Mrd. US\$ im Jahr 1994 wurden 1997 noch 2,1 Mrd. US\$ für Energieforschung aufgewendet, für 1998 ist der Abwärtstrend jedoch gestoppt und für die kommenden Jahre empfiehlt das wissenschaftliche Beratungsgremium des US-Präsidenten (PCAST) vor allem unter Umweltsichtspunkten eine deutliche Ausweitung.

Hauptziele des amerikanischen Programms zur Energieforschung sind die Steigerung der Energieeffizienz und die Minderung klimaschädlicher Emissionen. In diesem Zusammenhang kommen der Heranführung erneuerbarer Energien an die Wirtschaftlichkeit, dem sparsamen und sauberen Einsatz fossiler Brennstoffe sowie dem sicheren und ökonomischen Gebrauch der Kernenergie eine besondere Bedeutung zu.

Diese Schwerpunktsetzung kommt auch in der Mittelbereitstellung zum Ausdruck. Effizienzsteigerung (+12 % auf 408 Mio. US\$) und erneuerbare Energien (+30 % auf 345 Mio. US\$) sind die einzigen Programmteile im Bereich anwendungsnaher Forschung und Entwicklung, die im laufenden Haushaltsjahr nennenswerte Steigerungen verzeichnen können. Fossile Energien (362 Mio. US\$) und Fusion (232 Mio. US\$) bleiben in etwa stabil, während die Kernenergie (27 Mio. US\$) auf weniger als die Hälfte ihres Volumens von 1997 schrumpft. Darüber hinaus fließt nahezu ein Drittel der Energieforschungsmittel in die Grundlagenforschung.

Die von der Bundesregierung geförderten Programme sind teilweise ressortspezifisch, hierbei hat jedoch das Department of Energy (DOE) eine führende Rolle, teilweise sind sie ressortübergreifend,

wobei der Umfang der CO<sub>2</sub>-Relevanz nicht genau abzugrenzen ist.

### II.8.2 Fossile Energien

Hauptziel des FuE-Programms für fossile Energien ist neben der Sicherung der heimischen Energieversorgung der Umweltschutz. Schwerpunkte des Programms sind

- die Entwicklung einer neuen Generation sauberer, hocheffizienter Stromerzeugungsanlagen auf Basis von Gas und Kohle (Kraftwerke mit Kohlevergasung, Brennstoffzellen, Gasturbinen),
- fortschrittliche Methoden der Öl- und Gasgewinnung,
- die Entwicklung alternativer flüssiger Brennstoffe.

Fortschrittliche Kohletechnologien wurden zudem im Rahmen des Clean Coal Technology Programs 1996 mit 146 Mio. US\$ gefördert, für Maßnahmen in 1997 und 1998 standen noch insgesamt gut 100 Mio. US\$ bereit, die bereits für Vorjahre bewilligt waren. Das Programm umfaßt

- die Entwicklung sauberer Kohlekraftwerkstechnologien mit erheblich verbesserten Wirkungsgraden,
- die Einrichtung von Umweltkontrollinstrumenten zur Reduktion der Emissionen bestehender Kraftwerke und Industrieanlagen,
- die Kohleumwandlung zur Erzeugung sauberer Brennstoffe mit hoher Energiedichte für den Einsatz bei der Stromerzeugung und im Verkehr,
- industrielle Anwendungen für umweltfreundlichere Produktion von Stahl und anderen Erzeugnissen.

### II.8.3 Erneuerbare Energien

Im Bereich erneuerbarer Energien zielen Forschung und Entwicklung auf nachhaltige Energiequellen und alternative Treibstoffe. Das Programm hat folgende Schwerpunkte:

- Photovoltaik: Entwicklung neuer Produkte in integrierten photovoltaischen Komponenten für Geschäfts- und Wohnbauten, verbesserte Integration photovoltaischer Systeme in traditionelleren Energiesystemen.
- Biomasse: Einsatz von Biomasse in Kraftwerken, Entwicklung von modularen Systemen zur Nutzung von Biomasse, Entwurf und Bau von Anlagen zur Erzeugung von Äthanol-Treibstoffen aus Zellulose.
- Windenergie: Entwicklung einer neuen Anlagen- generation mit dem Ziel der Stromerzeugung zum Preis von 2,5 Cents pro kWh.

Dem Komplex erneuerbarer Energien zugerechnet werden in USA zudem FuE-Aktivitäten zur Speicherung und Übertragung von Strom. Hierbei geht es vor allem um die Entwicklung von Supraleitern.

Präsident Clinton hat im Zusammenhang mit den Zielen der Konferenz von Kioto für den Zeitraum bis

zum Jahr 2010 ein 1-Millionen-Dächerprogramm für Solaranlagen angekündigt, das die Installation von 20 000 Solardächern auf Regierungsgebäuden einschließt. Dieses Vorhaben soll einen wesentlichen Beitrag zur Verbreitung der durch amerikanische FuE geförderten Technologie leisten.

#### II.8.4 Endenergie/Energieeinsparung

Im Bereich der Energieeinsparung konzentrieren sich die Aktivitäten auf folgende Sektoren:

- **Verkehr:** Ziel ist es, bis zum Jahr 2004 den Prototyp eines familiengerechten „Autos der Zukunft“ zu entwickeln, der sich durch niedrigen Treibstoffverbrauch (vergleichbar dem 3-Liter-Auto) auszeichnen soll. Hierzu haben die drei führenden amerikanischen Autohersteller (GM, Ford und Chrysler) einen Partnerschaftsvertrag mit der amerikanischen Administration geschlossen. Bei der Aufstellung des Programms im Jahr 1993 war auch der Gedanke grundlegend, daß der Automobilverkehr mit nahezu einem Drittel zu den Treibhausgasen beiträgt. Unter anderem werden die Ansätze von Chrysler für eine flexibel einsetzbare Brennstoffzelle und von Ford für ein leichtgewichtiges Aluminiumfahrzeug verfolgt.
- **Industrie:** In freiwilligen Vereinbarungen haben sich Industrie, staatliche und lokale Einrichtungen auf ein Programm zur Entwicklung von hocheffizienten Antrieben und besonders geeigneten Materialien, wie z. B. Keramik, geeinigt. Ziel ist eine erhebliche Steigerung der Energieeffizienz in der Industrie.
- **Gebäude:** Hier zielen die Aktivitäten auf Entwicklung energieeffizienter und preisgünstiger Gebäudeformen für die Industrie und den Wohnungsbau. Weitere Maßnahmen betreffen die Gebäudeausstattung und -materialien, einschließlich Fenstern und Beleuchtung.

#### II.8.5 Klimaforschung/CO<sub>2</sub>-Fixierung

Die Klimaforschung der USA ist geleitet von dem Ziel, die Faktoren des Energiekreislaufs der Erde zu verstehen, Treibhausgasquellen und -senken zu identifizieren, präzise Voraussagen globaler und regionaler Klimaveränderungen zu treffen sowie die wissenschaftliche Basis zum Verständnis der Konsequenzen derartiger Klimaveränderungen zu verbreitern.

In diesem Bereich gibt es zahlreiche Forschungsprojekte, die die Zusammenhänge von Klima und Wasserkreislauf, den CO<sub>2</sub>-Zyklus, ökologische Prozesse sowie die menschliche Dimension der Klimaveränderung untersuchen.

Sämtliche Programme im Bereich der Klimaforschung sind zusammengefaßt unter dem US Global Change Research Program, für das im Haushaltsjahr 1997 insgesamt 1,8 Mrd. US\$ angesetzt waren. Die Hauptforschungsmittel entfielen dabei auf die NASA (1,3 Mrd. US\$), die National Science Foundation (170 Mio. US\$), das Department of Energy (112 Mio.

US\$), das Department of Commerce (71 Mio. US\$) sowie das Department of Agriculture (57 Mio. US\$).

#### II.8.6 Kernenergie

Die zivile Nuklearforschung ist seit den siebziger Jahren, in denen jährlich teilweise über 3 Mrd. US\$ (Preisbasis 1996) bereitgestellt wurden, stark zurückgeführt worden und beträgt 1998 nur noch 27 Mio. US\$. Hiermit werden Maßnahmen im Bereich der Sicherheit der Kernenergie und des Brennstoffkreislaufs sowie universitäre Forschungsaktivitäten finanziert. Die nukleare Sicherheitsforschung hat sich zum Ziel gesetzt, bestehende Reaktoren als zuverlässige und effiziente Anlagen im Grundlastbereich für das nächste Jahrhundert zu erhalten. Weitere Programmteile sollen dazu beitragen, fortschrittliche Brennstoffe zu entwickeln, mit denen die Entstehung hochradioaktiver Abfälle im kommerziellen Reaktorbetrieb reduziert werden kann. Die Förderung von FuE-Aktivitäten zu Leichtwasserreaktoren wurde 1997 beendet.

#### II.8.7 Kernfusion

Auch im amerikanischen Fusionsforschungsprogramm gab es in den letzten Jahren deutliche Einschnitte, wenn auch in geringerem Umfang als bei der Kernspaltung. Das Programm wird gegenwärtig neu ausgerichtet auf das Ziel, Basiswissen für eine umweltfreundliche und effiziente Energiequelle zu schaffen. Es orientiert sich auf ein besseres Verständnis der Physik des Fusionsplasmas und auf die Identifikation innovativer und kosteneffizienter Wege zur Nutzung der Fusionsenergie. Im Rahmen der gemeinsamen Designaktivitäten des multilateralen ITER-Programms beschäftigt sich die Fusionsforschung zudem mit der wissenschaftlichen und technologischen Untersuchung des brennenden Plasmas.

### II.9 China

#### II.9.1 Überblick

Angesichts des auf absehbare Zeit hohen Stellenwertes der Kohle als Hauptenergieträger der chinesischen Wirtschaft steht die Kohletechnologie auch im Mittelpunkt der Forschungs- und Entwicklungsprogramme zur CO<sub>2</sub>-Minderung. Im Vergleich dazu treten die anderen Bereiche in den Hintergrund.

#### II.9.2 Fossile Energien

Chinesische Kohlekraftwerke arbeiten bislang noch mit niedrigen Wirkungsgraden (im Mittel knapp 29%). Ziel der FuE-Maßnahmen ist der Einsatz effizienterer und weniger umweltbelastender Kohletechnologien wie IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle) und PFBC (Pressurized Fluidized Bed Combustion). Im Jahr 2000 will China sein erstes IGCC-Demonstrationskraftwerk mit einer Kapazität von 200 bis 400 MW in Betrieb nehmen.

**II.9.3 Erneuerbare Energien**

Bedeutung kommt vor allem der Fortentwicklung der Nutzung von Biomasse zu, die bei überwiegend direkter Verbrennung bereits heute auf dem Lande einen Anteil von 40 % am Energieverbrauch hat. Gegenwärtig wird an einem Programm zur Entwicklung effizienterer Technologien zum Einsatz von Biomasse gearbeitet. Dies richtet sich vor allem auf verbesserte Öfen und auf die Erzeugung von Biogas.

Im Bereich von Solar- und Windenergie konzentrieren sich die Anstrengungen vor allem darauf, Technologien bereitzustellen, die auch in abgelegenen ländlichen Gebieten eine Versorgung mit Elektrizität und damit wenigstens ansatzweise eine Teilhabe am wirtschaftlichen Fortschritt ermöglichen.

**II.9.4 Energieeinsparung**

In diesem Bereich zielen die Maßnahmen der chinesischen FuE-Politik vor allem auf die Verbesserung der Energieeffizienz bei industriellen Fertigungsprozessen, z. B. durch verbesserte Verfahren in der Schmelztechnik und in der chemischen Industrie.

**II.9.5 Sekundärenergien/Energieumwandlung**

Die chinesische Regierung hat eine interministerielle Arbeitsgruppe zur Entwicklung von Elektroautos und anderen nicht mit herkömmlichen Treibstoffen betriebenen Kraftfahrzeugen eingesetzt.

**II.9.6 Klimaforschung/CO<sub>2</sub>-Fixierung**

Wie bereits erwähnt, hat die chinesische Regierung eine Reihe von Vorhaben im Bereich der Klimaforschung gestartet. Diese teilweise in internationaler Kooperation betriebenen Untersuchungen befassen sich u. a. mit der Vorhersage und der Messung von Klimaveränderungen, mit deren Auswirkungen auf die Wasservorräte und die landwirtschaftliche Erzeugungsmenge und mit möglichen, geeigneten Gegenmaßnahmen.

**II.9.7 Kernenergie**

Chinas Bemühungen im Bereich Kernenergie konzentrieren sich zur Zeit auf die Technologie des Hochtemperaturreaktors. Hierzu wird zur Zeit ein Forschungsreaktor entwickelt. Im übrigen greift China bei der Verwirklichung seiner Ausbaupläne zur Stromerzeugung aus Kernkraftwerken vorwiegend auf ausländische Technologien zurück.