

Stellungnahme zur Energieforschung

Inhalt

	<u>Seite</u>
Vorbemerkung	2
Thesen und Empfehlungen zur Energieforschung	5
A. Inhaltliche Aspekte der Energieforschung	11
I. Energie und ihre Bedeutung	11
1. Naturwissenschaftliche Grundlagen und Bedeutung der Energieversorgung	
2. Volkswirtschaftliche und entwicklungspolitische Bedeutung	
3. Umwelteffekte der Energieversorgung	
4. Entwicklung von Energiebedarf und Energieversorgung	
5. Verfügbarkeit von Energievorräten und Energiequellen	
6. Herausforderungen der Energieversorgung unter dem Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung	
7. Aufgaben und Bedeutung der Energieforschung	
II. Gewinnung von Primärenergieträgern	31
1. Fossile Energieträger	
2. Nukleare Energieträger	
III. Umwandlung von Energie	36
1. Fossile Energie	36
1.1. Verbrennung	36
1.2. Dampf- und Gasturbinen	43
1.3. Kraftwerke	45
2. Nukleare Energie	50
2.1. Kernspaltung	50
2.2. Fusion	63
3. Regenerative Energien	72
3.1. Biomasse	73
3.2. Wasserkraft	78
3.3. Windenergie	82
3.4. Geothermie	87
3.5. Solarenergie	93

4. Weitere Energiewandlungstechniken	
110	
4.1. Brennstoffzellen	110
4.2. Wasserstofftechnik	115
IV. Energietransport und -verteilung	119
V. Energiespeicherung	128
VI. Rationelle Energienutzung und Energieanwendungstechnik	131
VII. Analyse von Energiesystemen	142
B. Strukturelle Aspekte der Energieforschung	
I. Institutionelles Gefüge	2
1. Universitäten	2
2. Fachhochschulen	
3. Außeruniversitäre Einrichtungen	12
4. Energieforschung in Unternehmen	24
5. Forschungsverbände	29
II. Finanzierung der Energieforschung	37
1. Übersicht	37
2. Bund und Länder	38
3. Europäische Union	46
4. Deutsche Forschungsgemeinschaft	
5. Industrie	49
III. Transfer und Akzeptanz	60
1. Wissens- und Technologietransfer	60
2. Akzeptanz von Energietechnik und -forschung in der Öffentlichkeit	76
C. Einrichtungen der Energieforschung	
Methodische Vorbemerkung	3
I. Universitäten	6
1. TH Aachen	6
2. U Bochum	15
3. TU Braunschweig	23
4. TU Clausthal	31
5. U Dortmund	38
6. TU Dresden	48
7. U-GH Duisburg	59
8. TU Bergakademie Freiberg	66

9. TU Hamburg-Harburg	75	
10. U Hannover	85	
11. U Hohenheim	94	
12. U Karlsruhe	101	
13. U Magdeburg	109	
14. TU München	116	
15. U Stuttgart	126	
II. Fachhochschulen	138	
1. FH Aachen	138	
2. FH Dresden	144	
3. FH Zittau-Görlitz	148	
III. Fraunhofer-Gesellschaft	157	
1. FhI für Solare Energiesysteme (ISE), Freiburg		157
2. FhI für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe	166	
IV. Helmholtz-Gemeinschaft	175	
1. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)	175	
2. Forschungszentrum Jülich (FZJ)	186	
3. Forschungszentrum Karlsruhe (FZK)	200	
4. Hahn-Meitner-Institut (HMI), Berlin	211	
5. MPI für Plasmaphysik (IPP), Garching	221	
V. Weitere Einrichtungen	230	
1. Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, Stuttgart	230	
2. Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE), München	236	
3. Institut für Solare Energieversorgungstechnik (ISET), Kassel	243	
4. Institut für Solarenergieforschung (ISFH), Hameln	246	
5. Deutsches Windenergie-Institut (DEWI), Wilhelmshaven	250	
6. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie		253
7. Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung (ZAE), Würzburg	260	
8. Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), Stuttgart	269	

Anhang:

Tabelle 1: Tätigkeitsschwerpunkte und Wissenschaftlerstellen in der
Energieforschung

Tabelle 2: Personaleinsatz in der Energieforschung

Tabelle 3: Eingeworbene Drittmittel für Energieforschung

Tabelle 4: Maßeinheiten der Energie und ihre Umrechnung

Tabelle 5: Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

Vorbemerkung

Mit seiner im Jahr 1994 verabschiedeten Stellungnahme zur Umweltforschung in Deutschland³¹⁾ hatte der Wissenschaftsrat zum ersten Mal eine Querschnittsstudie zu einem großen Forschungsfeld vorgelegt, das über die Grenzen der klassischen Fachdisziplinen und der Sektoren der öffentlich finanzierten Forschungseinrichtungen hinweg bewertet wurde. Für die sich anschließende Querschnittsbegutachtung der Materialforschung wurde ein zweistufiges Verfahren gewählt. Zunächst wurden "Empfehlungen zur Förderung materialwissenschaftlicher Forschung und Lehre an den Universitäten" vorgelegt, die sich vor allem mit den Strukturen materialwissenschaftlicher Forschung und Lehre an den Universitäten in Deutschland befassen.³²⁾ Darauf aufbauend wurde die "Stellungnahme zur außeruniversitären Materialwissenschaft" ausgearbeitet, in der einerseits mehr als 30 Einrichtungen der Materialforschungen dargestellt und bewertet und andererseits zu allgemeinen Themen Stellung genommen wurde.³³⁾

Der Wissenschaftsrat sieht in der fach- und institutionenübergreifenden Analyse und Bewertung großer Forschungsfelder eine wichtige Aufgabe zum Erhalt und zur Steigerung der Leistungsfähigkeit der Forschung in Deutschland. Mit der vorliegenden Stellungnahme zur Energieforschung werden die Querschnittsbewertungen fortgesetzt, wobei universitäre und außeruniversitäre Einrichtungen gemeinsam betrachtet werden.

Für die vorliegende Stellungnahme muß das breite Gebiet der Energieforschung aus pragmatischen Gründen eingegrenzt werden. Aspekte der Umweltforschung und der Materialforschung waren bereits Gegenstand der vorangehenden Querschnittsbegutachtungen. Außerdem konnten die wichtigen Gebiete der Gewinnung von Energieträgern und des Verkehrs nur am Rande einbezogen werden; sie be-

³¹⁾ Wissenschaftsrat: Stellungnahme zur Umweltforschung in Deutschland, Bd. I und II, Köln 1994.

³²⁾ Wissenschaftsrat: Empfehlungen zur Förderung materialwissenschaftlicher Forschung und Lehre an den Universitäten, in: Empfehlungen und Stellungnahmen 1993, Köln 1994, S. 291-361.

³³⁾ Wissenschaftsrat: Stellungnahme zur außeruniversitären Materialwissenschaft, Köln 1996.

dürften aufgrund ihrer gesellschaftlichen Bedeutung und ihres Forschungspotentials eigener Querschnittsuntersuchungen.

Die Stellungnahme gliedert sich in drei große Teile. Teil A befaßt sich mit inhaltlichen Aspekten der Energieforschung. Die Darstellung geht von der Bedeutung der Energie für menschliche Gesellschaften aus. Sie beschreibt und bewertet die Forschung zu den verschiedenen Umwandlungsformen (fossile, nukleare und regenerative Energie) sowie zu Energietransport, -speicherung, -anwendungstechnik und rationeller Energienutzung bis hin zur Analyse von Energiesystemen.

Im Teil B werden strukturelle Aspekte der Energieforschung behandelt, die vor allem das institutionelle Gefüge, die Finanzierung der Energieforschung sowie ihre Wechselwirkungen mit der Wirtschaft (Kooperation, Transfer, Ausgründungen) und einer breiteren Öffentlichkeit zum Gegenstand haben.

Teil C befaßt sich schließlich mit der Energieforschung und der zugehörigen Ausbildung an 15 Universitäten und 3 Fachhochschulen. Außerdem werden 5 Helmholtz-Zentren, 2 Institute der Fraunhofer-Gesellschaft sowie 8 weitere außeruniversitäre Einrichtungen unterschiedlicher Struktur und Ausrichtung in ihrem Tätigkeitsprofil dargestellt und in einer knappen Stellungnahme bewertet. Die Auswahl erfolgte aus pragmatischen Gründen, sie bedeutet nicht, daß nicht auch in nicht einbezogenen Einrichtungen leistungsfähige Energieforschung betrieben wird.

Der Anhang gibt schließlich tabellarische Überblicke über Tätigkeitsschwerpunkte, Personal- und Mittelausstattung der in der Energieforschung aktiven Einrichtungen und enthält eine Umrechnungstabelle für Energieeinheiten sowie ein Verzeichnis der Abkürzungen. Thesen und Empfehlungen zur Energieforschung sind dem Text der Stellungnahme vorangestellt.

Zur Vorbereitung der Stellungnahme hat der Wissenschaftsrat eine Arbeitsgruppe eingesetzt, die ihre Tätigkeit im Oktober 1996 aufgenommen hat. Um einen ersten Überblick über die Energieforschung zu gewinnen, wurde Ende 1996 eine erste Umfrage bei allen Universitäten, Fachhochschulen sowie einschlägigen außeruniversitären Forschungseinrichtungen durchgeführt. Anhand der Antworten wurden die Hochschulen und Institute ausgewählt, mit denen sich die Arbeitsgruppe inten-

siver befaßt hat und die im Teil C dargestellt sind (vgl. dort die "Methodische Vorbemerkung"). Über die Ortsbesuche hinaus hat die Arbeitsgruppe Anhörungen zu verschiedenen Themen durchgeführt und sich bei einem Kraftwerkshersteller und einem Energieversorgungsunternehmen über deren Tätigkeit informiert.

Der Arbeitsgruppe haben auch Sachverständige angehört, die nicht Mitglieder des Wissenschaftsrates sind. Ihnen ist der Wissenschaftsrat zu besonderem Dank verpflichtet. Dank gilt auch den besuchten Einrichtungen, die aussagekräftige Unterlagen vorgelegt und die Arbeitsgruppe bei ihren Ortsbesuchen offen empfangen haben.

Der Wissenschaftsrat hat die Stellungnahme am 22. Januar 1999 verabschiedet.

Thesen und Empfehlungen zur Energieforschung

(1) Energieversorgung sichern

Die jederzeit ausreichende Verfügbarkeit von arbeitsfähiger Energie ist eine entscheidende Voraussetzung für die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit, den sozialen Ausgleich und den Wohlstand von Gesellschaften. Ihre Verfügbarkeit ist Bedingung für die Überwindung von Armut und Hunger und damit von Bedeutung für das friedliche Zusammenleben der Völker. Angesichts des allein durch den Bevölkerungszuwachs zunehmenden Energiebedarfs sowie der begrenzten technisch-wirtschaftlich nutzbaren Energiebasis (Energieträger und -quellen) ist eine dauerhafte prosperierende weltweite Entwicklung gefährdet. Vorsorge im Bereich der Energieversorgung ist also eine Aufgabe von herausragender Bedeutung für die Zukunftsfähigkeit jeder Gesellschaft.

(2) Umweltbelastungen reduzieren

Die derzeitige Energieversorgung ist eine der wesentlichen Quellen von Umweltbelastungen und die Verbrennung fossiler Energieträger Hauptursache der anthropogenen Freisetzung von Treibhausgasen. Die Begrenzung und Rückführung von energiebedingten Umweltbelastungen auf ein Maß, das die Regenerations- und Assimilationsfähigkeit der natürlichen Stoffkreisläufe nicht übersteigt, ist eine der zentralen Herausforderungen auf dem Weg zur zukünftigen Energieversorgung. Dazu müssen die verschiedenen Möglichkeiten der Energieversorgung auf ihre ökologischen Folgen hin untersucht werden, damit sie auch in Kenntnis ihrer Umweltfolgen ausgewählt und genutzt werden können.

(3) Energie wirtschaftlich und nachhaltig bereitstellen

Eine leistungsfähige Energiewirtschaft und wettbewerbsfähige Energiepreise sind wichtige Elemente der wirtschaftlichen Entwicklung sowie der Sicherung von Produktion und Beschäftigung in Industrieländern und Entwicklungsländern. Den Kosten - und zwar den volkswirtschaftlichen Kosten, die externe Effekte einschließ-

lich Umweltfolgen mit erfassen - kommt eine besondere Bedeutung für die Bewertung von Energieträgern und Energietechnologien im Hinblick auf die Realisierung einer nachhaltigen Entwicklung zu.

(4) Energie haushälterisch nutzen

Ein haushälterischer Umgang mit Energie ist ein herausragendes Mittel, um Ressourcen und Umwelt zu schonen. Alle technischen und nichttechnischen Maßnahmen zum rationellen Energieeinsatz müssen konsequent genutzt werden. Grundlegende Untersuchungen zu Anwendungsbilanzen für den Energieeinsatz und zur Entwicklung von Handlungsanleitungen sind zu verstärken.

(5) Energieoptionen öffnen

Die Sicherung der Energieversorgung bei gleichzeitiger Verwirklichung von Umwelt- und Klimaschutzziele wird langfristig nur gelingen, wenn Forschung und Entwicklung zu deutlichen Fortschritten führen. Um das Ziel einer "nachhaltigen Entwicklung" zu erreichen, sind Produkt- und Prozeßinnovationen auf allen Stufen der Energiebereitstellungskette notwendig. Zudem müssen alle Optionen studiert werden, die - wie z.B. die Kernfusion - erfolgversprechende neue Wege erkunden oder bereits bekannte Wege für die jetzige oder künftige Energieversorgung darstellen. Forschung und Entwicklung sind der einzige systematische Weg, um Grundlagen für heutige und künftige Entscheidungen unter ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten zu schaffen. Eine Begrenzung der Optionenvielfalt im Stadium der Forschung könnte zu gegenüber künftigen Generationen nicht vertretbaren Einschränkungen möglicher Entwicklungspfade führen.

(6) Staatliche Forschungsförderung stärken

Energieforschung hat sich zu einem ausgesprochenen Hochtechnologiebereich entwickelt, der hinsichtlich seines wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Potentials gleichwertig neben Informations- und Kommunikationstechnik und Biotechnologie steht. Die Bedeutung der Energie für Wirtschaft und Gesellschaft, lange Zeithorizonte energietechnischer Entwicklungen bis zu einer möglichen kommerziellen Nutzung sowie hohe Entwicklungsrisiken und Kosten sind wesentliche Gründe dafür, daß Forschung und Entwicklung im Energiebereich eine zentrale Aufgabe der staatlichen Zukunftsvorsorge darstellen. Die staatliche Förderung der Energieforschung hat in Japan, USA und anderen Industrieländern einen hohen Stellenwert. Sie ist dort wesentlich höher als in Deutschland, wo sie im letzten Jahrzehnt beständig gesunken ist.

Ein Aufwuchs der staatlichen Mittel für die Energieforschung (Grundlagen und Anwendung) in Deutschland ist für den Erhalt der wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit erforderlich. Der Wissenschaftsrat hält einen Zuwachs in einer Größenordnung von 30 % der Mittel für Energieforschung innerhalb von drei Jahren für wünschenswert. Gefördert werden sollten vor allem Forschungen zu technischer Verbrennung, Kraftwerkstechnik, regenerativen Energien, rationeller Energienutzung, Kernfusion, Reaktorsicherheit und Entsorgung. Daneben müssen die aufgewandten Mittel durch Schwerpunktsetzungen effizienter verwendet werden.

(7) Industrielle Forschung muß stärker kooperieren

Industrielle Forschung und Entwicklung sind überwiegend auf kurzfristig für Produkte und Dienstleistungen anwendbare Ergebnisse gerichtet, die eine relativ rasche Amortisation der Forschungsinvestitionen erlauben und somit von den Unternehmen selbst zu tragen sind. Unternehmen sollten sich aber auch verstärkt in gemeinsam mit der öffentlich finanzierten Forschung durchgeführten Projekten mit anwendungsbezogener Thematik engagieren, um neue Ergebnisse der Energieforschung rascher aufzunehmen und umzusetzen. Dem Engagement von Anlagenbauern und -betreibern bei Demonstrationsprojekten kommt dabei große Bedeutung zu.

(8) Forschung und ihre Förderung bündeln

Energieforschung ist in einigen Bereichen gut koordiniert, im übrigen aber stark in unterkritische und überwiegend unabgestimmte Aktivitäten zersplittert. Durch Bündelung und Konzentration auf inhaltliche und örtliche Schwerpunkte sind vor allem an den Universitäten deutliche Verbesserungen möglich, ohne daß die wünschenswerte Vielfalt der bearbeiteten Fragestellungen gefährdet würde. Verbesserungen für die Energieforschung müssen auch durch eine deutliche Stärkung der bisher unzureichenden Abstimmung der Förderung von Bund und Ländern erreicht werden.

(9) Sozial- und geisteswissenschaftliche Forschung integrieren

Energieforschung wird fast ausschließlich als naturwissenschaftlich-technische Forschung betrieben. Dies wird den verschiedenen Dimensionen des Energieproblems nicht gerecht. Energiesysteme und andere technische Systeme sind eingebettet in Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft zu betrachten. Dazu müssen wirtschafts- und sozialwissenschaftliche, geisteswissenschaftliche und ökologische Aspekte im Sinne einer interdisziplinären Zusammenarbeit stärker einbezogen werden als bisher. Dies ist beispielsweise unerlässlich für eine wissenschaftliche Technikfolgenabschätzung und Politikberatung sowie für Studien zur Förderung der optimalen Nutzung von Energie durch die Bevölkerung.

(10) Nachwuchs fördern

Gut ausgebildeter wissenschaftlich qualifizierter Nachwuchs in ausreichendem Umfang wird auch künftig in allen Bereichen des Energiesektors einschließlich der Forschung benötigt. In der Vergangenheit wurde entsprechender Nachwuchs ausgebildet; aufgrund des starken Rückgangs der Anfängerzahlen in ingenieur- und naturwissenschaftlichen Studiengängen scheint dies jedoch in naher Zukunft nicht gesichert, so daß für diese Studiengänge im allgemeinen und die Energietechnik im speziellen schon in der Schule Interesse geweckt werden sollte. Die notwendige Konzentration und Schwerpunktbildung der universitären Energieforschung sollte genutzt werden, um die energietechnische Ausbildung den veränderten Anforderungen an eine zukunftsorientierte Ingenieurausbildung anzupassen.

A. Inhaltliche Aspekte der Energieforschung

A.I. Energie und ihre Bedeutung

I.1. Naturwissenschaftliche Grundlagen und Bedeutung der Energieversorgung

In allen geschichtlichen Epochen haben die Mengen und Arten der Energie, über die die Menschen verfügten, deren Lebensbedingungen und kulturelle Leistungen entscheidend geprägt. Dies kennzeichnet die fundamentale Bedeutung von nutzbarer Energie für die Evolution des Lebens und die Schaffung humaner Lebensbedingungen. Die Grundlagen des heutigen naturwissenschaftlichen Verständnisses der Rollen von Energie und Ordnung in allen Vorgängen der unbelebten und belebten Welt wurden im 19. Jahrhundert mit der Formulierung der Hauptsätze der Thermodynamik gelegt.

Der erste Hauptsatz - das Gesetz von der Erhaltung der Energie - besagt, daß Energie weder erzeugt noch vernichtet werden kann. Sie kann immer nur von einem Körper zu einem anderen Körper oder von einem System zu einem anderen System weitergegeben werden. Die Weitergabe von Energie erfolgt entweder dadurch, daß das eine System am anderen irgendeine Form von Arbeit verrichtet oder daß eine Wärmemenge von dem einen System auf das andere überströmt oder beides. Es kann auch eine Stoffmenge ausgetauscht werden, die Energie enthält.³⁴⁾

Der zweite Hauptsatz - das Gesetz der Entropiezunahme in abgeschlossenen Systemen - besagt, daß es neben der Energie eine weitere universelle Zustandsgröße gibt, die Entropie, die in einem abgeschlossenen System, das mit keinem weiteren System in irgendeiner Verbindung steht, niemals abnimmt. Die Entropie eines Systems kann nur durch Eingriff von außen verringert werden - entweder durch Energieentnahme oder durch Verrichtung von Arbeit am System.

Ihrer Natur nach kann die Entropie als ein Maß für Unordnung betrachtet werden. Dann bedeuten die beiden Hauptsätze der Thermodynamik, daß in einem abgeschlossenen System die Energie konstant bleibt, aber die Ordnung abnimmt. Um

³⁴⁾ Die durch die Relativitätstheorie beschriebene Äquivalenz von Masse (m) und

die ursprüngliche Ordnung wieder herzustellen, muß am System Arbeit verrichtet werden und die dadurch zugeführte Energie in Form von Wärme wieder abgeführt werden. Ganz allgemein bedeutet dies, daß zur Schaffung und Aufrechterhaltung von Ordnung ein Energieaustausch notwendig ist. Energie muß als Arbeit zugeführt und als Wärme wieder abgeführt werden. Dies gilt in der unbelebten und belebten Natur, bei mechanischen, chemischen, biologischen und technischen Vorgängen. So haben auch getrennte und gesammelte Stoffe eine niedrigere Entropie (größere Ordnung) als vermischte und zerstreute.

Der zweite Hauptsatz beschreibt damit auch die Entropiezunahme durch Vermischung und Zerstreung von Materie. Materie wird ebenso wie Energie durch Nutzung entwertet, wie sich etwa durch Rosten von Stahl und durch Verschleiß von Autoreifen usw. veranschaulichen läßt. Alle stofflichen Prozesse sind demnach mit einer Stoffzerstreuung bis zu einem Zustand verbunden, für die ein Einsammeln und Aufkonzentrieren praktisch unmöglich ist. Die damit verbundene Entropiezunahme läßt sich durch technische Maßnahmen reduzieren, aber sie läßt sich nicht gänzlich vermeiden.

Umweltbelastungen - auch solche, die im Zusammenhang mit der heutigen Energieversorgung stehen - werden insbesondere durch anthropogen verursachte Stoffzerstreuung verursacht. Beispiele dafür sind die Freisetzung von Schwefeldioxid und Kohlendioxid bei der Nutzung fossiler Energieträger.

Der Entropievermehrung kann nur durch die Nutzung von arbeitsfähiger Energie und Bereitstellung von verfügbarer Materie entgegengewirkt werden. Lebewesen erhalten oder erhöhen ihren Ordnungszustand unter anderem durch Nutzung der Arbeitsfähigkeit aus ihrer Umgebung, z.B. durch die Aufnahme von Nahrung. In ihrer Umgebung erzeugen sie dabei eine größere Unordnung, sie vermehren die Entropie. Das gilt analog auch für alle Ordnungszustände, die durch den Menschen geschaffen werden. Dabei sind mit Ordnungszuständen alle materiellen und energetischen Güter wie auch immaterielle Güter und Dienstleistungen gemeint. Das Entwertungs- bzw. das Entropieprinzip und das Entwicklungsprinzip, d.h. der Aufbau von Ordnungen, sind also miteinander untrennbar verknüpft.

Verfügbare Materie und Verfügung über Arbeitsfähigkeit sind notwendige aber keine hinreichenden Bedingungen für den Aufbau lebensnotwendiger und lebensfördernder Ordnungszustände und damit für Leben überhaupt. Um dem Leben dienende Ordnungen zu schaffen, muß Information oder Wissen hinzukommen. Bei allen Lebewesen ist diese Information im genetischen Code der Zelle angelegt. Die Nützlichkeit und den Zweck anthropogener Ordnungszustände bestimmt der Mensch. Eine Aufeinanderschichtung von Steinen verbraucht zwar Arbeitsfähigkeit, schafft aber noch keine nützlichen, dem Leben dienenden Ordnungszustände. Zusammengefügt zu einem Haus dienen Steine aber dem Leben, schützen vor Wind und Kälte, können also für spezielle Zwecke verwendet werden. Wissen, Information und Kreativität lassen sich unter dem Begriff Gestaltungsfähigkeit subsumieren. Diese ist neben der Arbeitsfähigkeit und der verfügbaren Materie die dritte notwendige Komponente zur Schaffung nützlicher, dem Leben dienender Ordnungszustände.

Die Gestaltungsfähigkeit stellt dabei eine besondere Ressource dar. Sie ist zwar zu jedem Zeitpunkt begrenzt, wird aber nicht verbraucht, sondern sie ist sogar vermehrbar. Dies zeichnet die Ressource Gestaltungsfähigkeit gegenüber den erschöpfbaren Energie- und Rohstoffvorräten und auch dem sehr großen, aber begrenzten Energiestrom der Sonne aus und gibt ihr eine besondere Bedeutung für die Lösung wissenschaftlich-technischer und gesellschaftlicher Probleme.

Die durch Wissenszuwachs steigende Gestaltungsfähigkeit und die damit mögliche Weiterentwicklung von Technik ermöglichen es,

- lebensnotwendige Ordnungszustände mit weniger Aufwand an Arbeitsfähigkeit und weniger verfügbarer Materie bereitzustellen, also die Energie- und Materialintensität des Wirtschaftens zu verringern,
- die verfügbare Energiebasis durch die Nutzbarmachung neuer Energiequellen und weiterer Energievorräte zu erweitern,
- die verfügbare Materie durch die Nutzbarmachung von neuen Rohstofflagerstätten und neuen Materialien zu erhöhen,
- der Stoffentwertung verfügbarer Materie entgegenzuwirken und

- die Umweltbelastungen durch Zerstreung von Materie und die Produktion von Stoffabfällen auch bei steigender Produktion von Gütern und Dienstleistungen zu reduzieren.

Die Ausführungen zu den Hauptsätzen der Thermodynamik verdeutlichen, daß Leben, und damit auch die Schaffung humaner Lebensbedingungen sowie die Entfaltung kultureller Leistungen, der ständigen Zufuhr von Arbeitsfähigkeit bedarf. Leben ist also untrennbar mit der Entwertung von Energie verknüpft und geht mit einer Stoffentwertung, der Stoffdissipation, einher. Die Hauptsätze sind damit auch die Basis der Grundaussagen der Ökonomie, die in Formulierungen wie "Alles hat seinen Preis" vertraut sind. Wissenszuwachs und der damit mögliche technische Fortschritt steigern unsere Gestaltungsfähigkeit. Sie ist der Schlüssel für die effiziente Bereitstellung von mehr arbeitsfähiger Energie, den schonenden Umgang mit den Rohstoffen sowie die Verminderung der Belastung von Umwelt und Natur.

Die Hauptsätze lassen sich als Naturgesetze nicht außer Kraft setzen; es kann nur versucht werden, das diesen Gesetzen folgende Geschehen mit den Interessen des Lebens und der Menschen in Einklang zu bringen.

I.2. Volkswirtschaftliche und entwicklungspolitische Bedeutung der Energieversorgung

Die Verfügbarkeit von arbeitsfähiger Energie ist eine Voraussetzung für wirtschaftliche Entwicklung und damit auch für die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit und Wohlfahrt der Nationen. Dementsprechend hat sich in den meisten Industrieländern die Energiewirtschaft zu einem wichtigen volkswirtschaftlichen Sektor entwickelt, dessen Tätigkeiten von der Gewinnung von Energieträgern, der Energiewandlung, dem Transport und der Verteilung von Energieträgern bis zur Bereitstellung von Energiedienstleistungen reichen. Der Umsatz des Kohlebergbaus, der Mineralölverarbeitung, der Gas- und Elektrizitätsversorgung in Deutschland betrug Mitte der 90er Jahre rd. 320 Mrd. DM/a. Diese Bereiche trugen mit knapp 3 % zur Bruttowertschöpfung bei. Die Energiewirtschaft ist darüber hinaus ein sehr investitionsintensiver Bereich. Obwohl die direkten Energiekosten im Durchschnitt aller Wirtschaftssektoren nur rd. 2,2 % der gesamten Kosten ausmachen, sind sie aufgrund

der Vorleistungsverflechtungen insbesondere für die energieintensive Industrie ein wesentlicher Standortfaktor. Gerade im Hinblick auf den wachsenden globalen Wettbewerb kommt deshalb einer modernen leistungsfähigen Energieinfrastruktur und wettbewerbsfähigen Energiepreisen eine wesentliche Funktion zur Sicherung von Produktion und Arbeitsplätzen zu. Erfahrungen im Zusammenhang mit den beiden Ölpreiskrisen haben gezeigt, daß Perioden mit hohen Energiepreisen mit Inflation und ökonomischer Rezession verbunden waren.

Neben der Energiewirtschaft selbst ist die energieanlagenbauende Industrie ein aus gesamtwirtschaftlicher Sicht bedeutsamer Bereich. Dies gilt auch in Bezug auf den Export von Energieausrüstungen für die Gewinnung, Umwandlung und den Transport von Energieträgern sowie für die Energieanwendung. Zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit dieser Industriezweige auf dem weltweiten Markt der Energieversorgungs- und Energieanwendungstechniken bedarf es kontinuierlicher FuE-Arbeiten und der Umsetzung ihrer Ergebnisse in Innovationen und konkurrenzfähige Produkte sowie deren Erprobung und Nutzung auf den heimischen Märkten.

Der Export von geeigneten Energietechnologien kann auch einen Beitrag zur Entwicklung der Volkswirtschaften der Länder der Dritten Welt leisten. Die entwicklungspolitische Aufgabe der Überwindung von Armut und Hunger durch die Schaffung humaner Lebensbedingungen ist eng verknüpft mit der Verfügbarmachung kostengünstiger arbeitsfähiger Energie. Die über eine ausreichende Bereitstellung von Energiedienstleistungen mögliche Verbesserung der Lebensbedingungen ist außerdem Voraussetzung für eine Begrenzung des Bevölkerungswachstums.

I.3. Umwelteffekte der Energieversorgung

Die derzeitige Energieversorgung ist eine der wesentlichen Quellen der lokalen und globalen Umweltbelastungen. Die von der Gewinnung, Umwandlung und Nutzung von Energieträgern ausgehenden Schädigungen, Gefährdungen und Einwirkungen auf die Umwelt sind vielfältig und bezüglich ihrer Wirkungen noch nicht vollständig verstanden. Sie resultieren aus der Abgabe von Stoffen in die Atmosphäre, das Wasser und den Boden, der Abgabe von Wärme, der Notwendigkeit der Entsorgung fester und flüssiger Nebenprodukte sowie aus der Inanspruchnahme von Flächen. Sie haben Auswirkungen auf die natürlichen Ökosysteme, das Klima, die Gesundheit des Menschen aber auch auf Kulturgüter und das Landschaftsbild.

Da alle menschlichen Aktivitäten mit der Nutzung von natürlichen Ressourcen verbunden sind, ist jede heute realisierte oder zukünftig denkbare Art der anthropogenen Energieversorgung mit Wirkungen auf die Umwelt verbunden. Jede Energieversorgung hat Umwelteffekte, Art und Grad der Umweltinanspruchnahme sind jedoch unterschiedlich. Bis auf die Flächeninanspruchnahme und die Übernutzung der Ressource Wald zur Brennholzversorgung in vielen Entwicklungsländern werden die als schwerwiegend angesehenen energiebedingten Umweltwirkungen durch die Freisetzung von Stoffen entlang der Kette von der Energieträgergewinnung bis zur Nutzung der Energiedienstleistungen verursacht. Dies gilt sowohl für Belastungen mit lokalem und regionalem Wirkungsbereich, wie z.B. die Ozonbildung durch die Interaktion von Kohlenwasserstoffen und Stickoxid, den Säureeintrag in Böden und Oberflächenwässer und die Gesundheitsgefährdung durch Feinstäube und toxische Schwermetalle, als auch für die globalen Wirkungen der Veränderungen des Klimas, die der Emission von Treibhausgasen zugeschrieben werden.

Umweltbelastungen durch Stofffreisetzungen bei der Energienutzung lassen sich in vielen Fällen durch technische Maßnahmen reduzieren, beispielsweise durch die Steigerung von Wirkungsgraden³⁵⁾, durch die Optimierung der Verbrennungsvorgänge oder durch Rauchgasreinigungstechniken. In anderen Fällen bleibt nur die Substitution des Energieträgers. Dies trifft nach gegenwärtigem Kenntnisstand für

³⁵⁾ Vgl. Übersicht 15 im Abschnitt B.I.4 Energieforschung in Unternehmen.

die Freisetzung von Treibhausgasen durch die Verbrennung fossiler Energieträger zu, für die es derzeit zwar technische Rückhaltungsmöglichkeiten gibt, die aber noch ökonomische und ökologische Fragen offenlassen. Die durch die Verbrennung fossiler Energieträger mitverursachte Erhöhung der Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre wird gegenwärtig von vielen Klimatologen als bedrohliches Umweltproblem angesehen. Obwohl zu wichtigen Teilaspekten des komplexen Klimasystems noch Wissenslücken bestehen, die Aussagen über die Geschwindigkeit, den Umfang und die geographische Ausprägung von Klimaänderungen noch nicht wissenschaftlich gesichert erscheinen lassen, werden auf Grund der großen Zeitkonstanten der klimaverändernden Prozesse zumindest aus Vorsorgegründen Maßnahmen zur Reduktion anthropogener Emissionen von Treibhausgasen gefordert.

Aufgrund des Anteils der fossilen Energieträger Kohle, Öl und Erdgas von mehr als 75 % am weltweiten Energieeinsatz, ist angesichts der wachsenden Weltbevölkerung die Reduktion energiebedingter Treibhausgasemissionen nicht nur eine Frage nach den technisch verfügbaren Kohlenstoff-freien oder -ärmeren Substituten sondern auch der damit verbundenen ökonomischen Implikationen. Kosteneffiziente Optionen zur Treibhausgasminderung gewinnen vor diesem Hintergrund eine große Bedeutung.

1.4. Die Entwicklung von Energiebedarf und Energieversorgung

(1) Entwicklung und Perspektiven der weltweiten Energieversorgung

Der weltweite Verbrauch an Primärenergieträgern hat seit Anfang des 20. Jahrhunderts exponentiell zugenommen. Im Jahr 1973 betrug der weltweite Verbrauch an kommerzieller, d. h. gehandelter Primärenergie 244 Exajoule(EJ)³⁶. In Folge der beiden Ölpreissprünge in den Jahren 1973 und 1979/80, die die Entwicklung der Weltwirtschaft beeinträchtigten, sowie der politischen Umwälzungen in der ehemaligen Sowjetunion hat sich der Anstieg des weltweiten Primärenergieverbrauchs

³⁶ Vgl. Tabelle 4 "Maßeinheiten der Energie und ihre Umrechnung" im Anhang.

deutlich verlangsamt, wie aus Übersicht 1 ersichtlich ist. Im Jahr 1997 betrug er 364 EJ und lag damit um 49 % über dem Verbrauch des Jahres 1973.

Übersicht 1:
Weltenergieverbrauch und Weltbevölkerung

Quelle: UN: Energy Statistics Yearbook, UN: World Development Report, BP: Statistical Review of World Energy, Statistisches Bundesamt: Statistisches Jahrbuch der Bundesrepublik Deutschland; jeweils verschiedene Jahrgänge

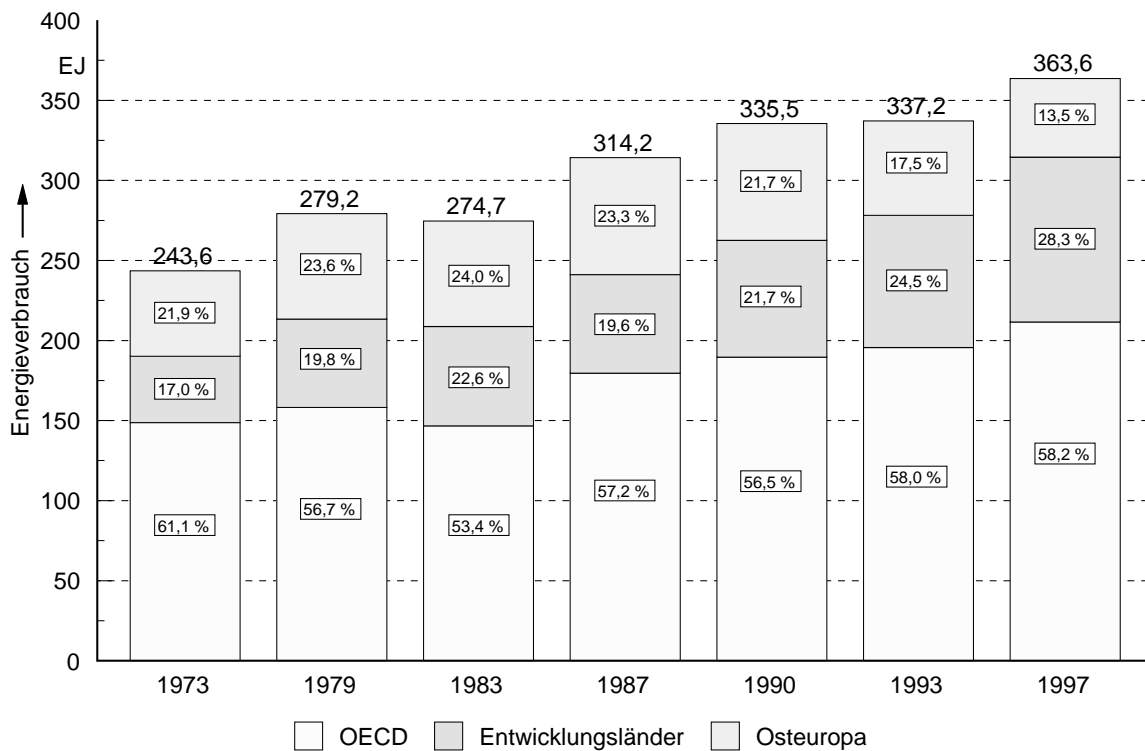
Die Weltbevölkerung wuchs im selben Zeitraum 1973 bis 1997 durchschnittlich um 1,8 %/a, d. h. in der gleichen Größenordnung wie der Energieverbrauch. Der auf die gesamte Weltbevölkerung bezogene Pro-Kopf-Energieverbrauch ist in diesem Zeitraum leicht zurückgegangen. Er beträgt heute 62 Gigajoule (GJ) pro Kopf und Jahr gegenüber 64 GJ im Jahr 1973. Weltweit gibt es aber große Ungleichgewichte hinsichtlich des Energieverbrauchs. So haben die westlichen Industrieländer (OECD)³⁷ mit einem Bevölkerungsanteil von etwa 18 % einen Anteil von 58 % am weltweiten Verbrauch kommerzieller Energie, die sogenannten Entwicklungsländer mit einem Anteil von rund 52 % der Weltbevölkerung einen Anteil von nur 28 % am Weltenergie-

³⁷ Diese und weitere Abkürzungen werden in Tabelle 5 im Anhang erläutert.

verbrauch. Damit steht den Bewohnern der OECD-Länder pro Kopf rund zehnmals mehr Energie zur Verfügung als den Menschen in der Dritten Welt, wobei das Gefälle zwischen den reichsten und ärmsten Ländern noch größer ist.

Unter Fortbestehen der Disparitäten haben sich allerdings die Anteile der Weltregionen am Primärenergieverbrauch (vgl. Übersicht 2) in den letzten Jahrzehnten nachhaltig verschoben. Vor allem in den westlichen Industrieländern hat die Energieintensität, d. h. der Energieeinsatz je Einheit des Bruttoinlandsproduktes, deutlich abgenommen, so daß ihr Energieverbrauch trotz einer insgesamt stark gestiegenen wirtschaftlichen Aktivität 1997 nur um 42 % über dem des Jahres 1973 lag. Demgegenüber hat der Energieverbrauch der Entwicklungsländer sowohl anteilmäßig als auch absolut weitaus stärker zugenommen. Der Energieverbrauch der osteuropäischen Länder ist zwischen 1973 und 1987 noch um 37 % gestiegen, dann jedoch bis 1990 konstant geblieben, um danach aufgrund des wirtschaftlichen Umbruchs unter das Niveau des Jahres 1973 zu fallen.

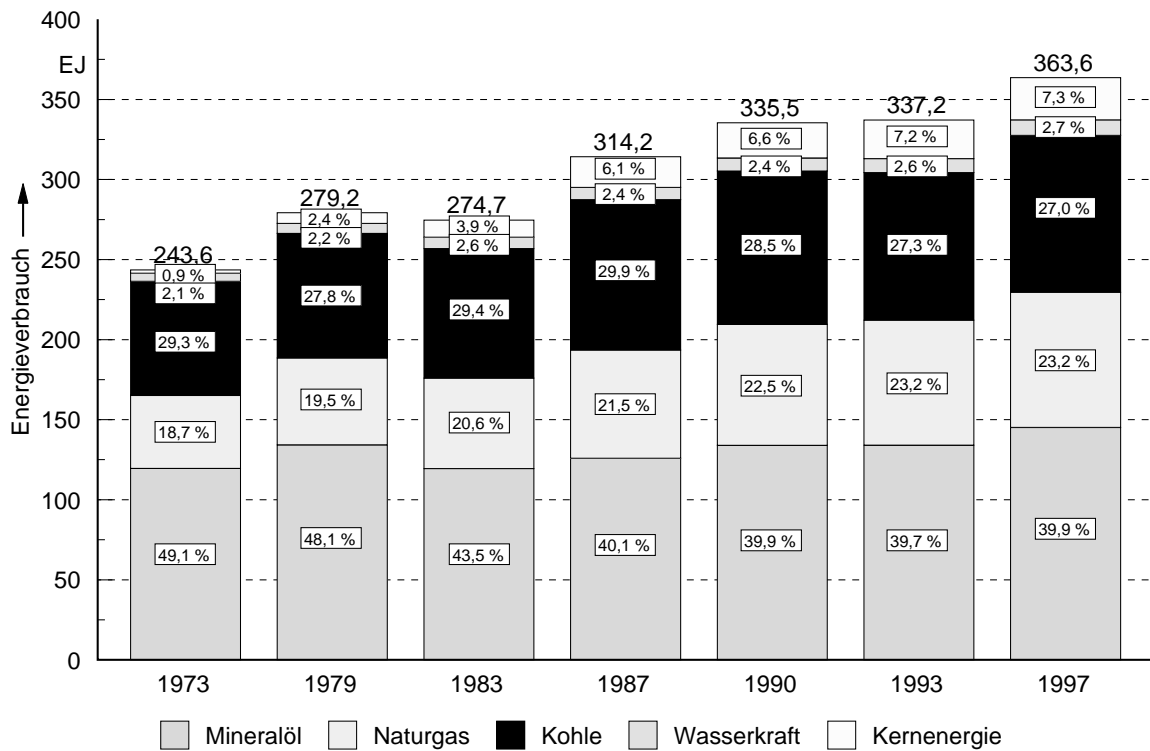
Übersicht 2: Weltenergieverbrauch nach Regionen



Quelle: BP: Statistical Review of World Energy, 1998

Ein wesentlicher Strukturwandel hat sich seit 1973 auch bei den weltweit eingesetzten Primärenergieträgern vollzogen (vgl. Übersicht 3). Der Anteil des Mineralöls, das von 1965 bis 1973 seinen Versorgungsanteil von 38 % auf 49 % steigern konnte, sank bis zum Jahr 1997 um nahezu 10 Prozentpunkte auf 40 %. Die verlorenen Versorgungsanteile des Mineralöls wurden von Naturgas und Kernenergie übernommen. Beim Naturgas betragen die Anteilsgewinne zwischen 1973 und 1997 5 Prozentpunkte, absolut stieg sein Verbrauch aber bis 1997 um 85 % gegenüber 1973. Die Kernenergie konnte ihren Marktanteil mehr als versiebenfachen und deckte 1997 7 % der weltweiten Primärenergienachfrage. Die weltweiten Energieversorgungsstrukturen sind damit heute diversifizierter und weniger ölabhängig als 1973. Dennoch ist Öl weltweit immer noch der mengenmäßig wichtigste Energieträger.

Übersicht 3: Weltenergieverbrauch nach Energieträgern



Quelle: BP: Statistical Review of World Energy, 1998

Bei den Analysen der zukünftigen Entwicklung der weltweiten Energienachfrage und ihrer Deckung durch die verschiedenen Energieträger wird im weiteren auf die Arbeiten des International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, in Zusammenarbeit mit dem Weltenergieerat (WEC) aus dem Jahr 1998 (Nakicenovic et al., 1998) Bezug genommen. Ausgehend von einer Zunahme der Weltbevölkerung von rund 5,3 Mrd. Menschen im Jahr 1990 auf 7,9 Mrd. im Jahr 2020 und 10,1 Mrd. im Jahr 2050 geben IIASA/WEC drei Pfade (A "High Growth", B "Middle Course", C "Ecologically Driven") der weltweiten Wirtschaftsentwicklung an, die durch die in Übersicht 4a zusammengestellten Zahlen des realen Bruttosozialprodukts (in Preisen von 1990) bestimmt sind. Darauf aufbauend werden Energieversorgungsszenarien entwickelt, die sich in den Beiträgen der einzelnen Energieträger zum Gesamtverbrauch unterscheiden (vgl. Übersichten 4a/b).

Übersicht 4a:
Entwicklung des Bruttonationalprodukts weltweit nach Regionen
in Bill. US-\$ in Preisen von 1990,

	1990	2020			2050		
		Pfad A	Pfad B	Pfad C	Pfad A	Pfad B	Pfad C
Insgesamt	25,7	56,8	49,3	50,8	115,0	87,8	91,3
davon: OECD	14,1	27,6	25,0	23,2	44,7	36,6	32,1
Entwicklungsländer	9,1	26,9	22,3	25,4	62,1	46,0	54,1
Reformländer	2,6	2,2	2,0	2,3	8,1	5,1	5,1

Quelle: Nakicenovic et al., 1998.

Übersicht 4b:
Szenarien der Entwicklung des Weltenergieverbrauchs
nach Energieträgern

Quelle: Nakicenovic et al, 1998.

Für alle Pfade läßt sich zusammenfassend sagen, daß aufgrund der weiter zunehmenden Weltbevölkerung und angesichts des angestrebten Wachstums der Weltwirt-

schaft der Weltenergieverbrauch weiter zunehmen wird. Die Bandbreite der Entwicklung bewegt sich dabei zwischen einer Zunahme um 60 % im Pfad C und um 180 % im Pfad A. Ein Großteil dieses Zuwachses wird dabei durch die Entwicklungsländer hervorgerufen. Die Deckung des wachsenden Weltenergiebedarfs stellt somit eine zentrale Herausforderung für die Energieversorgung dar.

Übersicht 5:

Entwicklung des Primärenergieverbrauchs in Deutschland

Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland, verschiedene Jahrgänge

(2) Energienutzung und Energieverwendung in Deutschland

Die Entwicklung des Primärenergieverbrauchs für die alten und die neuen Bundesländer seit 1973 ist in Übersicht 5 dargestellt. Er betrug 14,3 EJ im Jahr 1995. Deutlich erkennbar sind die Verbrauchsrückgänge jeweils nach den beiden Ölpreisschüben in den Jahren 1973 und 1979/80 sowie der Verbrauchsanstieg in den alten Bundesländern in den 90er Jahren. Im Zeitraum von 1980 bis 1995 ergab sich für den Primärenergieverbrauch in Deutschland ein Rückgang von 4,2 %. Dieser Rückgang

beruht indes auf der Entwicklung in den neuen Bundesländern. Dort war der Primärenergieverbrauch im Jahr 1995 um ca. 40 % niedriger als 1980, während er in den alten Bundesländern den Vergleichswert von 1980 um reichlich 7 % übertraf.

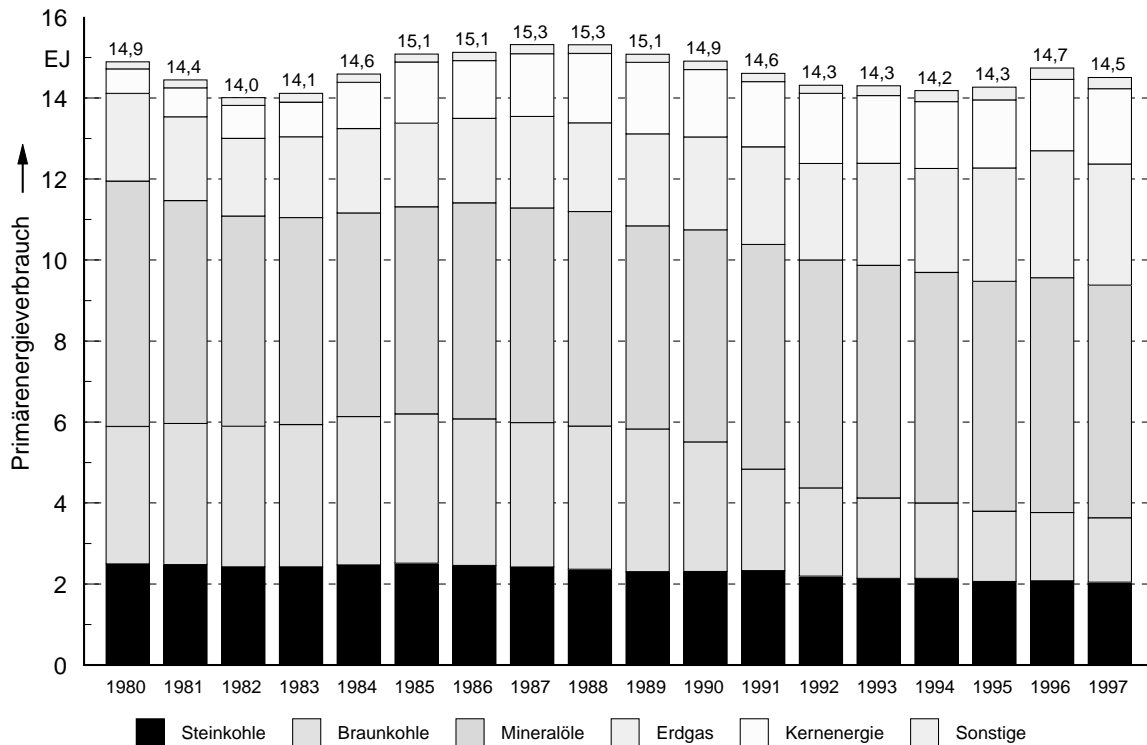
Der Anteil der Mineralölprodukte am gesamten Primärenergieverbrauch in Deutschland ist zwischen 1980 und 1997 mit etwa 40 % (vgl. Übersicht 6) nahezu konstant geblieben. Bei einer relativ starken Abnahme des Verbrauchs beim schweren Heizöl kam es gleichzeitig zu einem Anstieg des Kraftstoffverbrauchs. Das Erdgas konnte seinen Anteil von 14,5 % im Jahr 1980 auf 20,6 % im Jahr 1997 vergrößern.

In den vergangenen Jahren hatte die Steinkohle in ihren traditionellen Absatzgebieten Wärmeerzeugung in der Industrie, bei Eisen- und Stahlerzeugung und der Stromerzeugung Einbußen zu verzeichnen, wobei der Rückgang fast ausschließlich die deutsche Steinkohle betraf und weniger die Importkohle.

Damit sank der Verbrauch an Steinkohle um 454 PJ entsprechend 18,2 % gegenüber 1980 auf insgesamt 2.043 PJ, der Anteil am Primärenergieverbrauch verminderte sich von 16,8 % im Jahr 1980 auf 14,1 % im Jahr 1997.

Übersicht 6:

Primärenergieverbrauch in Deutschland nach Energieträgern



Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland, verschiedene Jahrgänge

Der seit 1990 erkennbare Rückgang des Einsatzes von Braunkohle hat dazu geführt, daß bis zum Jahr 1997 der Primärenergieverbrauch an Braunkohle in Deutschland gegenüber dem Jahr 1980 um 1.800 PJ entsprechend 53,1 % auf 1.591 PJ fiel. Damit reduzierte sich auch der Anteil der Braunkohle am gesamten Primärenergieverbrauch von 22,8 % im Jahr 1980 auf 11,0 % im Jahr 1997. Diese Entwicklung ist allerdings ausschließlich auf Veränderung in den neuen Bundesländern zurückzuführen.

Die Kernenergienutzung³⁸ in der Bundesrepublik Deutschland stieg von 1980 bis 1997 um 1.251 PJ entsprechend 206 % auf insgesamt 1.858 PJ. Innerhalb der gesamten Primärenergiebilanz trug die Kernenergie damit im Jahr 1997 mit 12,8 % zur Deckung bei gegenüber 4,1 % im Jahr 1980; in den alten Bundesländern belief sich der Versorgungsanteil 1995 auf 13,9 % (1980: 4,2 %). In den neuen Bundesländern wird die Kernenergie seit 1991 nicht mehr genutzt.

³⁸ Bewertet nach dem Wirkungsgradansatz gemäß Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen.

Einen Überblick über Höhe und Struktur des Endenergieverbrauchs³⁹ in der Entwicklung von 1980 bis 1997 für Deutschland gibt Übersicht 7. Danach ergab sich für den Endenergieverbrauch in Deutschland im Jahr 1997 bezogen auf 1980 ein Rückgang um 3,3 %. Dieser Rückgang beruht indes ausschließlich auf der Entwicklung in den neuen Bundesländern. Dort war der Endenergieverbrauch im Jahr 1995 um 39 % niedriger als 1980, während er in den alten Bundesländern den Vergleichswert für 1980 noch um etwa 4,9 % übertraf.

³⁹ Die Endenergie ist der Energieinhalt der Energieträger, die der Endverbraucher bezieht, z. B. der Energieinhalt des Heizöls, welches in den Öltank des Privathaushalts gelangt, oder der Verbrauch an elektrischer Energie eines Kunden.

Übersicht 7: Endenergieverbrauch in Deutschland nach Sektoren

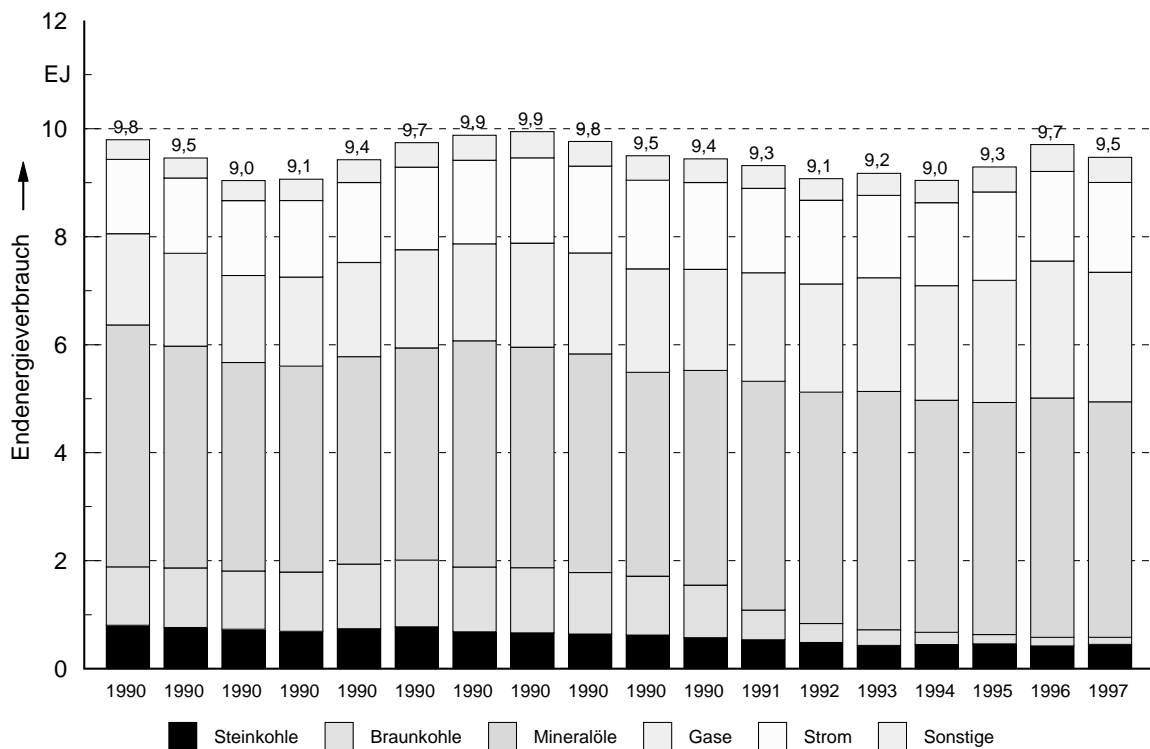
Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland, verschiedene Jahrgänge

Besonders stark nahm damit in Deutschland der Endenergieverbrauch von 1980 bis 1997 im verarbeitenden Gewerbe (Industrie) (-32 %) ab. Auch bei den Kleinverbrauchern⁴⁰ (-15 %) ist es zu einer beträchtlichen Verbrauchsminderung gekommen. Bei den privaten Haushalten ist in den letzten Jahren wieder ein Zuwachs des Endenergieverbrauchs zu verzeichnen, so daß im Jahr 1997 ein um 14 % höherer Verbrauch als im Jahr 1980 resultiert. Im Verkehrssektor ist der Energieeinsatz im Jahre 1997 um 40 % höher als 1980. Der Verkehrssektor ist damit innerhalb der Endenergiesektoren nach den privaten Haushalten die Verbrauchergruppe mit dem zweithöchsten Anteil geworden. Dagegen ist der Anteil der Industrie von 36,8 % im Jahr 1980 auf 25,9 % im Jahr 1997 zurückgegangen.

⁴⁰ Unter dem Begriff "Kleinverbraucher" werden alle Endverbrauchersektoren zusammengefaßt, die nicht anderen Sektoren (Industrie, Verkehr, Haushalte) zuzuordnen sind. Diesem Sektor gehören somit beispielsweise öffentliche Gebäude, wie Schulen und Krankenhäuser, genauso wie Teile von Handel und Gewerbe oder auch die Landwirtschaft an.

Feste Brennstoffe hatten im Zeitraum 1980 bis 1997 in Deutschland insgesamt eine rückläufige Tendenz (vgl. Übersicht 8). So hat sich der Anteil der Steinkohle am Endenergieverbrauch von mehr als 8 % im Jahr 1980 auf 4,7 % im Jahr 1997 vermindert. Der Anteil der Braunkohle ging von 11,1 % auf 1,4 % zurück.

Übersicht 8:
Endenergieverbrauch in Deutschland nach Energieträgern



Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland, verschiedene Jahrgänge

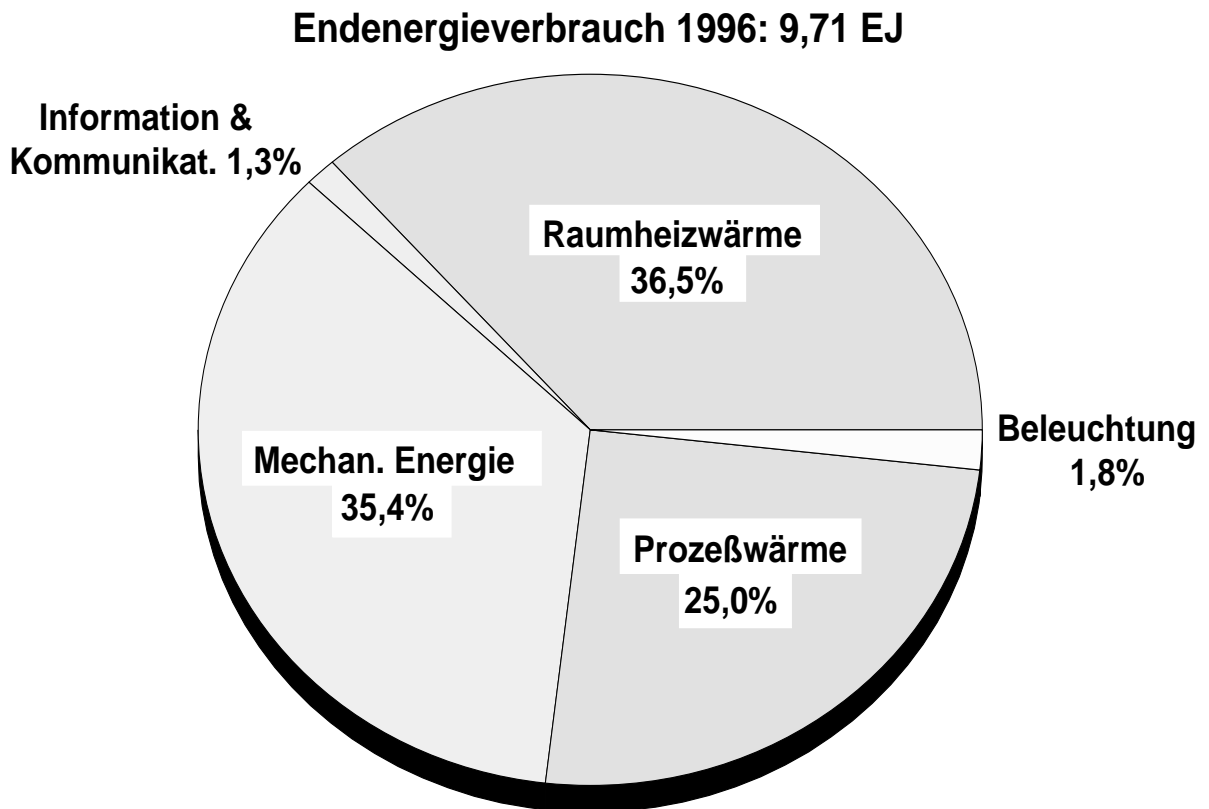
Der Anteil des Mineralöls am Endenergieverbrauch ist in den Jahren 1980 und 1997 mit ca. 46 % in Deutschland nahezu identisch, wobei es zwischenzeitlich deutliche Anteilsverluste zu verzeichnen gab. Die Gase konnten im Zeitraum von 1980 bis 1997 ihren Endenergieverbrauchsanteil demgegenüber stetig steigern. Im Jahr 1980 hatten die Gase bundesweit einen Anteil von 17,3 %, bis zum Jahr 1997 stieg dieser Anteil auf 25,3 %. Der Verbrauchsanstieg war besonders in den neuen Bundesländern bedeutsam, hier stieg der Anteil der Gase von 6,3 % im Jahr 1980 auf 23,5 % im Jahr 1995.

Fernwärme war in den neuen Bundesländern traditionell stark verbreitet. Sie konnte ihren Anteil am Endenergieverbrauch auch nach der Wiedervereinigung steigern und hatte im Jahr 1997 einen Anteil von 4,9 % am Endenergieverbrauch in Deutschland gegenüber 3,7 % im Jahr 1980. Deutlichere Zuwachsraten konnte der Strom aufweisen. Sein Anteil am Endenergieverbrauch in Deutschland ist zwischen 1980 und 1997 von 14,1 % auf 17,5 % gestiegen. Strom ist damit nach den Mineralölen und den Gasen der dritt wichtigste Endenergieträger in Deutschland.

Mit der Ebene der Endenergie wird jedoch die Energienutzungskette noch nicht vollständig dargestellt. Zusätzlich ist noch der wichtige Bereich der Umwandlung der Endenergie beim Verbraucher zu betrachten. Die bei dieser Umwandlung gewonnene Nutzenergie - das ist die Energie, die dem Endverbraucher nach der letzten Umwandlung für den jeweiligen Anwendungsbereich (Licht, Kraft, Wärme) zur Verfügung steht - ist aber die Voraussetzung dafür, daß der Endverbraucher die von ihm letztlich gewünschte Energiedienstleistung (z. B. gute Beleuchtung, ein angenehm temperierter Raum) realisieren kann. Hier stellt die Aufteilung des Endenergieverbrauchs in den einzelnen Sektoren auf die einzelnen Anwendungsbereiche Raumheizwärme, Information & Kommunikation, Prozeßwärme, Mechanische Energie und Beleuchtung eine Orientierung dar.

Eine Übersicht über die Letztverwendung der Endenergie in Deutschland im Jahr 1996 zeigt Übersicht 9. Demnach wird der größte Teil der Endenergie für die Anwendungsbereiche Mechanische Energie und Raumheizwärme mit jeweils 36 % verwendet. Dritt wichtigster Bereich ist die Prozeßwärme, auf die ein Viertel entfällt. Demgegenüber sind die prozentualen Anteile der Anwendungsbereiche Beleuchtung (ca. 1,8 %) und Information & Kommunikation (etwa 1,3 %) für den Endenergieverbrauch in Deutschland von untergeordneter Bedeutung.

Übersicht 9:
Struktur des Endenergieverbrauchs in Deutschland
nach Anwendungsbereichen im Jahr 1996

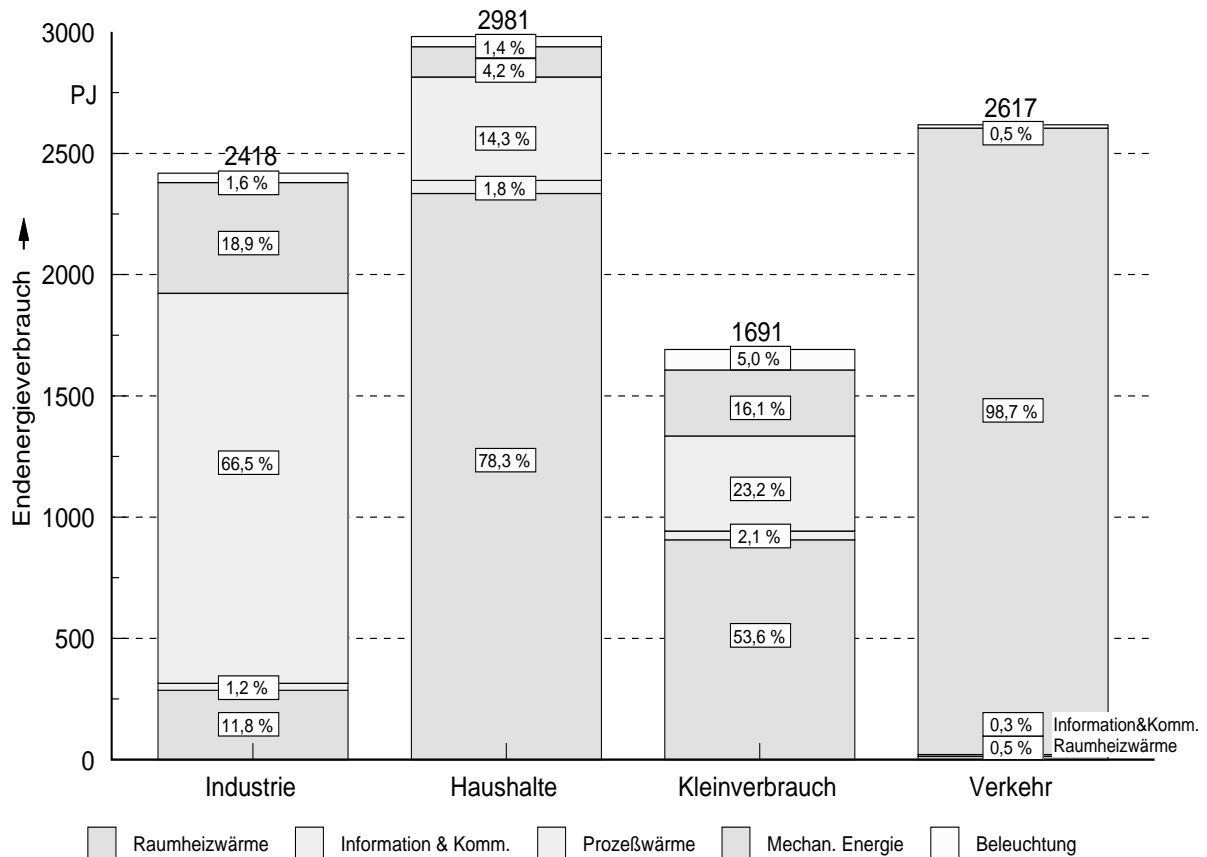


Quelle: VDEW-Arbeitskreis "Nutzenergiebilanzen": Struktur des Endenergieverbrauchs in Deutschland im Jahr 1996, Oktober 1997; IER-Berechnungen

Die Struktur des Endenergieverbrauchs in den einzelnen Endverbrauchssektoren nach Anwendungsbereichen in Deutschland im Jahr 1996 zeigt Übersicht 10. Demnach dominiert in der Industrie beim Endenergieverbrauch der Anwendungsbereich Prozeßwärme, gefolgt von der Mechanischen Energie und der Raumheizwärme. Die Raumheizwärme wiederum ist sowohl bei den Haushalten (78,3 %) als auch bei den Kleinverbrauchern (53,6 %) der Anwendungsbereich mit dem größten Anteil am Endenergieverbrauch. Demgegenüber wird im Verkehr der Endenergieverbrauch nahezu ausschließlich für Mechanische Energie verwendet. Nur geringe Anteile werden

für die Bereiche Raumheizung, Information & Kommunikation und Beleuchtung eingesetzt.

Übersicht 10:
Endenergieverbrauch in Deutschland nach Verbrauchssektoren
und Anwendungsbereichen im Jahr 1996



Quelle: VDEW-Arbeitskreis "Nutzenergiebilanzen": Struktur des Endenergieverbrauchs in Deutschland im Jahr 1996, Oktober 1997; IER-Berechnungen

I.5. Verfügbarkeit von Energievorräten und Energiequellen

Die Energieträger, die uns zur Verfügung stehen, lassen sich den erschöpfbaren Energievorräten und den quasi unerschöpflichen Energieströmen (regenerativen Energiequellen) zuordnen. Letztere werden von der Energie aus den nuklearen Fusionsprozessen der Sonne, den radioaktiven Zerfallsprozessen in der Erdkruste, der Restwärme des Erdkerns sowie aus der kinetischen und potentiellen Energie der Planeten gespeist. Zu den Energievorräten zählen die fossilen Energieträger

Kohle, Erdöl und Erdgas als gespeicherte Sonnenenergie und die Kernbrennstoffe Uran, Thorium, Deuterium und Lithium (Brutstoff für Tritium für die Kernfusion). Die Frage nach den in der Erdkruste vorhandenen und gewinnbaren fossilen und nuklearen Energievorräten ist nicht zu beantworten, da bisher nur an wenigen Stellen der Erde nach diesen Stoffen exploriert worden ist.

In Übersicht 11 sind die nachgewiesenen, sicher gewinnbaren Reserven und die derzeit geschätzten zusätzlichen Ressourcen für fossile und nukleare Energieträger aufgeführt. Beide zusammen bilden die Vorratsbasis, die entsprechend dem derzeitigen Kenntnisstand die insgesamt gewinnbare Menge der fossilen und nuklearen Energien kennzeichnet, allerdings mit Unsicherheiten behaftet ist. In der Vergangenheit ist durch technischen und wissenschaftlichen Fortschritt sowie im Rahmen der Explorationsbemühungen die Vorratsbasis im Zeitverlauf ausgeweitet worden und Ressourcen sind in sicher gewinnbare Reserven überführt worden.

Übersicht 11:
Reserven und Ressourcen fossiler und nuklearer Energieträger in EJ

	sicher ge- winnbare Reserven	zusätzliche Ressourcen	Vorrats- basis
Erdöl			
- konventionell	6.270	6.060	12.330
- unkonventionell	8.067	13.877	21.944
Erdgas			
- konventionell	5.984	11.662	17.556
- unkonventionell	8.025	10.662	18.809
Kohle	25.330	116.789	142.119
Summe	53.586	159.172	212.758
Uran ⁴¹⁾	2.382- 141.700	8.485- 507.870	10.867- 649.570

Quelle: Berechnungen des IER

Übersicht 12 zeigt die historische Entwicklung der konventionellen Erdöl- und Erdgasreserven sowie die Entwicklung des Reserven- zu Produktionsverhältnisses. Wie sich die Reserven- und Ressourcensituation in Zukunft entwickeln wird, ist eine nicht zu beantwortende Frage. Orientiert man sich an den Schätzungen der fossilen Vorratsbasis, so wären rein rechnerisch die fossilen Energieträger in der Lage, den derzeitigen weltweiten Energieverbrauch für rd. 600 Jahre zu decken.

⁴¹⁾ Die Bandbreite ergibt sich aus einer unterschiedlichen energetischen Ausnutzung des Urans durch verschiedene Reaktorsysteme.

Übersicht 12:

Entwicklung der konventionellen Erdöl- und Erdgasreserven und
Entwicklung des Reserven- zu Produktionsverhältnisses

Quelle: Nakicenovic, N., Grübler, A., McDonald, A. (editors): Global Energy Perspectives.
Cambridge University Press, Cambridge 1998

Energieträger für die Kernspaltung sind Uran und Thorium, die relativ häufig in der Erdkruste vorkommen. Gegenwärtig wird ausschließlich Uran als Kernbrennstoff verwendet. Die Energiemenge, die aus einem Kilogramm Uran gewonnen werden kann, hängt von der Art des Kernreaktors und der Rückführung des Spaltstoffes aus den abgebrannten Brennelementen ab. Bei einer weitgehenden Ausnutzung des Kernbrennstoffes bieten allein die Uranreserven und -ressourcen ein Energiepotential, das größer als das der fossilen Energieträger ist (vgl. Übersicht 11). Das Energiepotential der zweiten nuklearen Energiequelle, der Kernfusion, ist noch größer als das der Kernspaltung.

Anders als die fossilen und nuklearen Energieträger stellen sich die regenerativen Energiequellen (bis auf die Biomasse) in Form eines Energiestroms dar, der natürlichen Leistungsschwankungen unterliegt und durch niedrige Leistungsdichten gekennzeichnet ist. Das Angebotspotential der erneuerbaren Energiequellen, worunter die gesamte natürlich dargebotene jährliche Energiemenge verstanden wird, ist mit 2,6 Mio. EJ/a fast 8.000 mal größer als der weltweite anthropogene Energieverbrauch; auf die solare Strahlung entfällt dabei der weit überwiegende Anteil. Von diesem Angebotspotential läßt sich aufgrund anderer Verwendungen (Nahrungproduktion) und aufgrund technischer Randbedingungen nur ein Teil energetisch nutzen. Abschätzungen des technisch nutzbaren Potentials, die naturgemäß mit erheblichen Unsicherheiten verbunden sind und somit nur eine größenordnungsmäßige Orientierung darstellen können, belaufen sich auf rd. 1.100 EJ/a. Dies entspricht dem Dreifachen des gegenwärtigen weltweiten Energieverbrauchs.

Betrachtet man die Gesamtheit der im Prinzip zur Verfügung stehenden Energievorräte und Energiequellen, so lassen sich mengenmäßige Knappheiten nicht postulieren. Der Deckung eines weltweit steigenden Bedarfs an Energiedienstleistungen stehen damit weniger ressourcenseitige Begrenzungen der Energiemengen entgegen als Probleme der Nutzbarmachung der Energievorräte und -quellen, die damit verbundenen Kosten, die regional ungleiche Verteilung der Vorräte und Quellen sowie die Umwelt- und Klimaeffekte, die mit der Nutzung einzelner Energieträger verbunden sind.

I.6. Herausforderungen der Energieversorgung unter dem Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung

Gegenwärtig sind folgende sowohl international als auch national bedeutsame Herausforderungen erkennbar:

- die Vermeidung anthropogener Umweltbelastungen und Klimaänderungen, die die natürlichen Lebensgrundlagen gefährden,
- die Überwindung von Armut und Hunger einer wachsenden Weltbevölkerung als eine notwendige Voraussetzung für eine friedliche Welt sowie
- die Sicherung der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit und von ausreichender Beschäftigung, nicht zuletzt auch in Deutschland.

Diese Herausforderungen haben einen direkten Bezug zur Energieversorgung, da

- der überwiegende Teil der Treibhausgas- und anderer Schadstoffemissionen aus der Energieversorgung stammen,
- die Verfügbarmachung von mehr arbeitsfähiger Energie eine notwendige Bedingung zur Überwindung von Armut und Hunger, d.h. zur Schaffung humaner Lebensbedingungen und damit auch zur Begrenzung des Bevölkerungswachstums ist,
- die Sicherung des Wirtschaftsstandortes ohne eine leistungsfähige Energieinfrastruktur und ohne wettbewerbsfähige Energiepreise nicht gelingen kann, was auch speziell für Deutschland gilt.

Die Bewältigung dieser Herausforderungen ist gleichbedeutend mit der Umsetzung des Leitbildes "Nachhaltige Entwicklung". Darunter ist eine Entwicklung zu verstehen, die die Bedürfnisse der gegenwärtig lebenden Menschen befriedigt, ohne die Befriedigung ähnlicher Bedürfnisse der in Zukunft lebenden Menschen zu beeinträchtigen.

Der allein aufgrund der steigenden Bevölkerungszahl wachsende Energiebedarf der kommenden Generationen ist in seiner künftigen Höhe nicht genau bekannt. Aus dem Prinzip der Verantwortung für die Nachwelt, die dem Leitbild "Nachhaltige Entwicklung" zugrunde liegt, folgt jedoch die Notwendigkeit, die technisch-wirt-

schaftlich nutzbare Energiebasis auszuweiten und die umweltbezogenen Effekte der Energieversorgung auf ein Maß zu begrenzen, das die Lebensgrundlagen Umwelt und Natur auf Dauer erhält. Beide Aufgaben sind dabei als Einheit zu sehen; sie charakterisieren das "Energieproblem" an der Schwelle zum 21. Jahrhundert.

Längerfristig wird die Sicherung der Energieversorgung bei gleichzeitiger Verwirklichung wichtiger energiebezogener Umweltziele vor dem Hintergrund des sich ausweitenden globalen Wettbewerbs nur bei einem haushälterischen Umgang mit allen knappen Ressourcen gelingen können. Effiziente Ressourcennutzung im Zusammenhang mit der Energieversorgung betrifft dabei nicht nur die Ressource Energie, da die Bereitstellung von Energiedienstleistungen immer auch den Einsatz anderer knapper Ressourcen erfordert: nicht-energetischer Rohstoffe, Kapital, Arbeit und Umwelt. Die effiziente Nutzung aller Ressourcen, die sich aus dem Leitbild Nachhaltigkeit ableitet, entspricht aber auch dem allgemeinen ökonomischen Prinzip. In der Ökonomie dienen Kosten und Preise als Maß für die Inanspruchnahme knapper Ressourcen. Geringe Kosten bei gleichem Nutzen bedeuten eine ökonomisch effizientere, eine ressourcenschonendere Lösung. Kosten, und zwar den volkswirtschaftlichen Kosten, die externe Effekte einschließlich Umweltfolgen mit erfassen, kommt damit eine besondere Bedeutung für die Bewertung von Energieträgern und Energietechnologien im Hinblick auf das Leitbild "Nachhaltige Entwicklung" zu.

Die Industrieländer verfügen in besonderem Maße über die materiellen und personellen Ressourcen, um durch Forschung und Entwicklung die Voraussetzungen für die Verwirklichung einer nachhaltigen Energieversorgung zu schaffen.

I.7. Aufgaben und Bedeutung der Energieforschung

Technisch-wissenschaftlicher Fortschritt und die daraus entstehenden Innovationen tragen maßgeblich zur Bewältigung der im Abschnitt I.6. diskutierten Herausforderungen bei. Nur wenn Forschung und Entwicklung zu nachhaltigen Fortschritten bei der Umwandlung und Nutzung von Energie sowie bei der Ausweitung der Energiebasis führen, erscheinen die Aufgaben lösbar, die mit der Realisierung einer nachhaltigen Energieversorgung verbunden sind.

Produkt- und Prozeßinnovationen auf allen Stufen der Energiebereitstellungskette und die Durchsetzung dieser Innovationen auf den entsprechenden Märkten sind notwendig, um die positiven Wirkungen von arbeitsfähiger Energie für Wachstum und Wohlfahrt zur Geltung zu bringen und gleichzeitig zur Entkopplung von Energieverbrauch und Umweltinanspruchnahme beizutragen. Verbesserte und neue Energietechnologien können die monetären und umweltbezogenen Kosten der Versorgung mit Energieträgern reduzieren, die Kosten von Energiedienstleistungen durch Effizienzsteigerungen senken, das Risiko von Preissteigerungen bei den importierten Energieträgern Öl und Erdgas mindern, die Emissionen von Treibhausgasen reduzieren und damit die Chance für eine nachhaltige Entwicklung deutlich verbessern. Sollen derartige Fortschritte auch einen Beitrag zur Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft und damit zur Sicherung von Beschäftigung in Deutschland leisten, wird es darauf ankommen, in Schlüsselbereichen der Energietechnik an der Spitze der Entwicklung zu stehen und damit auch einen Beitrag zur nachhaltigen Energieversorgung zu leisten.

Forschung und Entwicklung sind der einzige systematische Weg, die notwendigen technischen Fortschritte und Innovationen für eine ökonomie-, umwelt- und nachweltverträgliche Energieversorgung zu erreichen. Den verschiedenen Dimensionen des Energieproblems muß daher durch eine angemessene Breite und Diversifizierung der Forschungs- und Entwicklungsfelder Rechnung getragen werden, die alle Energiesysteme umfaßt, die ein plausibles Potential für Wirtschaftlichkeit, Umwelt- und Klimaverträglichkeit haben.

Die entsprechend dem Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung langfristig erforderliche grundlegende Umgestaltung unserer heute vornehmlich auf fossilen Ener-

gieträgern beruhenden Energieversorgung macht es notwendig, auch in Forschungsfeldern zu investieren, die erst in einigen Jahren oder Jahrzehnten marktfähige Produkte erwarten lassen und daher mit höheren Erfolgsrisiken behaftet sind.

Die langen Zeithorizonte bis zu einer möglichen kommerziellen Nutzung, hohe Entwicklungsrisiken und Kosten sind wesentliche Gründe dafür, daß Forschung und Entwicklung im Energiebereich nicht allein der Wirtschaft überlassen werden können, sondern eine zentrale Aufgabe der staatlichen Zukunftsvorsorge darstellen. Eine weitere Begründung für öffentlich geförderte Energieforschung ergibt sich aus der Notwendigkeit, Folgen der Energieversorgung, z.B. die Umwelteffekte, zu reduzieren. Da diese sich derzeit nicht ausreichend in den Marktpreisen niederschlagen, fehlen entsprechende Preissignale, auf die Unternehmen mit ihren Entwicklungsstrategien reagieren. Darüber hinaus läßt die gegenwärtige Deregulierung der Energiemärkte eine Abnahme des Engagements der Energiewirtschaft für Forschung und Entwicklung erwarten. Damit Forschung und Entwicklung ihren Beitrag zur Bewältigung der energetischen Herausforderungen leisten können, sind neben der Investition in Forschung und Entwicklung auch Maßnahmen zum Abbau von Markteintrittshemmnissen erforderlich.

A.II. Gewinnung von Primärenergieträgern

Für die Deckung des Energiebedarfs stehen als nicht regenerative Energiequellen fossile Energieträger⁴²⁾ (u.a. Kohle, Erdöl, Erdgas, Teersande, Gashydrate) und nukleare Energieträger (z.B. Uran, Deuterium) sowie regenerative Energiequellen (u.a. Biomasse, Wasserkraft, Windenergie, Solarenergie, geothermische Energie) zur Verfügung. Die fossilen Energieträger decken etwa 90 % des globalen Primärenergiebedarfs (1997: rund 370 EJ), wobei der Anteil des Erdöls derzeit der größte ist (1997: 40 %), gefolgt von der Kohle (1997: 27 %), die ehemals den Energiemarkt beherrschte. Der Anteil des Erdgases lag 1997 bei 23 %. 7 % des welt-

⁴²⁾ Hier verstanden als aus Pflanzen, Bakterien oder Tieren hervorgegangene Substanzen, die in Sedimente eingelagert und mit diesen in große Erdtiefen versenkt wurden.

weiten Energieverbrauchs werden derzeit durch Kernenergie und 3 % durch Wasserkraft gedeckt (vgl. Übersicht 3).

II.1. Fossile Energieträger

Die fossilen Primärenergieträger Erdöl, Kohle und Erdgas kommen fast ausschließlich in Sedimentbecken vor. Die Genese von Erdöl und Erdgas beruht vornehmlich auf der durch erhöhte Temperaturen in der Erdkruste bedingten Abspaltung von Kohlenwasserstoffen aus pflanzlicher organischer Substanz bei Versenkung.

(1) Erdöl

Erdöl wird in Sedimentgesteinen in Tiefen von 2 - 5 km und bei Temperaturen von 80 - 160 °C gebildet. Danach bewegt es sich (migriert) teilweise aus den Erdölmuttergesteinen heraus in gröbere Speichergesteine, die durch undurchlässige Schichten (Tonsteine, Salze) begrenzt werden. Die optimale Zone zur Förderung von Erdöl hinsichtlich Porosität und Permeabilität liegt zwischen 1 und 4 km Tiefe. Die Exploration nach Erdöl erfolgt mit verschiedenen geophysikalischen Methoden (u.a. Seismik, Gravimetrie, Magnetik), wobei insbesondere die Anwendung dreidimensionaler Seismik Strukturen im Untergrund hochauflösend erkennen läßt. Numerische Computer-Simulationstechniken (Beckensimulation) werden vielfach zusätzlich benutzt. Im Falle einer positiven Auswertung werden Explorationsbohrungen zur Verifizierung der vermuteten Befunde niedergebracht, gefolgt von Erweiterungsbohrungen, die in bereits erschlossenen Feldern die Ausdehnung der Lagerstätte feststellen sollen. Produktionsbohrungen werden schließlich abgeteuft, um das gefundene Reservoir auszufördern.

Ölschiefer, Teersand und Schweröl werden als "unkonventionelles Erdöl" bezeichnet. Teersande kommen oberflächlich vor und können im Tagebau abgebaut werden. Große Vorkommen von Teersanden gibt es insbesondere in Kanada und Kolumbien. Ölschiefer kann als Gestein ebenfalls oberflächlich abgebaut werden. In Deutschland wurde dies während des 2. Weltkrieges praktiziert (z.B. Grube Messel bei Darmstadt). Ölschiefer kommen besonders in den USA, Rußland, China und Australien vor. Schweröle gibt es vornehmlich in den USA und Venezuela.

Im Jahr 1996 wurden weltweit rund 3,4 Mrd. t Erdöl (davon ca. 150 Mio. t aus Schweröl und Teersand) aus über 900.000 Bohrungen gefördert. 40 % davon kamen aus den in der Organisation der erdölexportierenden Länder (OPEC) zusammengeschlossenen Staaten. 32 % des 1996 geförderten Erdöls stammen aus Bohrungen in Gewässern (offshore), wobei die Nordsee weltweit das ergiebigste Offshore-Gebiet ist. In Deutschland werden pro Jahr 3 Mio. t Erdöl gefördert.

(2) Erdgas

Erdgas ist ebenfalls ein wichtiger fossiler Energieträger. Bei seiner Verbrennung werden nur geringe Mengen an Schadstoffen freigesetzt. Bei Erdgas handelt es sich vornehmlich um Methan (CH_4), das in bis zu 10 km Erdtiefe bei Temperaturen von etwa 80 - 300 EC oder über mikrobielle Prozesse nahe der Erdoberfläche gebildet wird. Die Exploration nach Erdgas findet zum Teil in größeren Teufen als bei Erdöl statt. Das Gesamtpotential von Erdgas ist gegenüber Erdöl geographisch gesehen etwas gleichmäßiger verteilt, wobei die Nachfolgestaaten der Sowjetunion allerdings deutlich hervortreten.

Zum "unkonventionellen Erdgas" in Vorkommen, die mit den klassischen Förder-techniken wirtschaftlich nicht gewonnen werden können, zählen Erdgas in Kohleflözen, dichten Speichergesteinen, Aquiferen und insbesondere Gashydraten. Bei Gashydraten handelt es sich um eine Verbindung von Gas mit Wasser, die bei hohen Drücken und niedrigen Temperaturen in fester Form kristallisiert und vorwiegend Methan enthält. Vorkommen von Gashydraten gibt es in Permafrost-Gebieten (Alaska, Kanada, Grönland, Rußland, Antarktis) und an den Kontinentaltabhängen der Ozeane. Künftig müssen günstige Fördertechniken zur Gewinnung des Methans aus den zum Teil unter mächtigen Sedimentschichten liegenden Gashydrat-Vorkommen an Kontinentaltabhängen entwickelt werden.

Die weltweite Erdgasförderung hat 1996 mit 2.303 Mrd. m^3 einen Höchstwert erreicht (1970: 1.064 Mrd. m^3 , 1950: 185 Mrd. m^3). Etwa 22 % der gesamten Erdgasförderung stammen aus Offshore-Feldern (insbesondere Nordsee und Golf von Mexiko). Auf Rußland und die USA entfällt zusammen etwa die Hälfte der weltweiten Erdgasförderung.

(3) Kohle

Kohlen sind Gesteine aus überwiegend organischer Substanz und gehen auf Torfmoore zurück. Bei zunehmender Versenkung und Temperaturerhöhung werden aus Torfen zunächst Braunkohlen, dann Steinkohlen und schließlich Anthrazite und Graphit. Kohlen werden entweder im Tagebau oder im Tiefbau gewonnen. Die Exploration auf Kohle geschieht überwiegend über Bohrungen zur Ermittlung der Mächtigkeit, Qualität und Lagerung. 1996 wurden weltweit etwa 4,6 Mrd. t Kohle gefördert (Steinkohle: 3,7 Mrd. t, Braunkohle: 0,9 Mrd. t). Davon stellten China und die USA die Hälfte. In Deutschland wurden 1996 neben dem Abbau von 48 Mio. t Steinkohle rund 187 Mio. t Braunkohle im Tagebau besonders im rheinischen Revier westlich von Köln, im Lausitzer Revier bei Dresden und im Mitteldeutschen Revier bei Leipzig gefördert. Damit ist Deutschland weltweit der größte Braunkohlengewinner.

II.2. Nukleare Energieträger

Die nuklearen Energieträger werden für Prozesse der Kernspaltung und Kernfusion eingesetzt.

(1) Uran

Uran ist ein radioaktives Element mit einer Halbwertszeit von 4,5 Mrd. Jahren. Endprodukt des Zerfalls ist Blei. In der Natur ist Uran als Verbindung in zahlreichen Gesteinen der Erdkruste, z.B. Granit, in kleinen Mengen (3 - 10 g/t Gestein) enthalten. Bedeutende Uran-Lagerstätten mit Konzentrationen von ca. 1 kg/t Erz gibt es u.a. in Kanada, Rußland, Australien, Niger, Namibia und den USA. In Deutschland sind im Erzgebirge und Schwarzwald Uran-Lagerstätten vorhanden. Zur Gewinnung reiner Uran-Salze werden verschiedene mechanische und chemische Verfahren auf die Erze angewendet. Ferner enthält Meerwasser etwa 3 mg Uran pro m³ Wasser. 1996 wurden weltweit 35.810 t Uran erzeugt, davon 11.706 t (33 %) allein in Kanada. Direkt als Kernspaltungsmaterial läßt sich nur das zu 0,7 % im Natururan enthaltene Isotop Uran-235 verwenden. Durch Neutronenbestrahlung kann das häufiger vorkommende Uran-238 beim Betrieb von Kernspaltungs-Reaktoren in den Kernspaltstoff Plutonium-239 umgewandelt werden.

Die Vorräte an Thorium, das bisher als Kernspaltstoff keine Rolle spielt, sind etwa denen des Urans vergleichbar.

(2) Deuterium, Tritium

Deuterium und Tritium sind Isotope des Wasserstoffs. Deuterium (Massenzahl 2: schwerer Wasserstoff) ist im Wasser zu 0,1 Promille enthalten. Tritium (Massenzahl 3: überschwerer Wasserstoff) ist ein radioaktives Isotop mit einer Halbwertszeit von etwa 12 Jahren und kommt in der Natur sehr selten vor. Es läßt sich aber mittels Neutronen aus dem in der Erdkruste enthaltenen Metall Lithium herstellen. Genaue Angaben über die Lithium-Reserven sind derzeit nicht möglich, da dieses Metall bislang nur geringfügig Verwendung findet und deshalb so gut wie gar nicht prospektiert worden ist; es gibt jedoch aus mehreren unabhängigen Quellen Schätzwerte für die Lithium-Vorräte zu Land, die bei rund 100 Mio. Tonnen liegen, und das Wasser der Weltmeere enthält zusätzlich etwa die tausendfache Menge. Im Fusions-

reaktor verschmelzen Deuterium- und Tritium-Kerne unter Freigabe eines Neutrons sowie großer Mengen potentiell nutzbarer Energie zu Helium.

* * *

Die fossilen Energieträger spielen derzeit eine zentrale Rolle als Primärenergieträger. Ihre Gewinnung ist damit von großer Bedeutung, was auch für Forschungsarbeiten im Bereich der Gewinnungstechniken gilt. In die vorliegende Stellungnahme konnte dieser wichtige Bereich aber nicht einbezogen werden, da eine thematische Eingrenzung des ohnehin sehr breiten Gebiets der Energieforschung unerlässlich war. Darin liegt selbstverständlich keine Bewertung der aus pragmatischen Gründen nicht betrachteten Gebiete.

A.III. Umwandlung von Energie

III.1. Fossile Energie

1.1. Verbrennung

Ausgangslage

Die Verbrennung fossiler Energieträger (Stein- und Braunkohle, Mineralöl, Erdgas) ist mit einem Anteil von über 87 % am Primärenergieverbrauch in Deutschland die tragende Säule der Strom-, Wärme- und Kraftstoffversorgung. Nach den heute erkennbaren Reserven (vgl. Übersicht 11 im Abschnitt A.I.5.) mit statischen Reichweiten von mehreren hundert Jahren für Stein- und Braunkohle und mindestens vier Jahrzehnten für Mineralöl und für Erdgas wird die Verbrennung fossiler Energieträger auch in absehbarer Zeit eine wesentliche Rolle für die Energieversorgung spielen.

Verbrennungsvorgänge finden statt in den Dampfkesseln von Kraftwerken und Industriebetrieben, in Gasturbinen, in Industrieöfen, in Warm- und Heißwasserkesseln und in sonstigen Anlagen zur Erzeugung von Raumheizwärme und zur thermischen Behandlung und Verwertung von Reststoffen. Fossile und alternative Kraftstoffe

(z.B. Benzin, Diesel, Kerosin, Methanol, Pflanzenöle, Raps-Methyl-Ester (RME), Wasserstoff) werden in den Verbrennungskraftmaschinen (Otto-, Dieselmotoren und Gasturbinen) umgesetzt.

Die Forschungsaktivitäten stehen gegenwärtig unter folgenden übergreifenden Zielsetzungen:

- effizientere Gestaltung der Verbrennung (Verbrauchsminderung bei Feuerungsanlagen und Kraftfahrzeugen)
- schadstoffärmere Führung von Verbrennungsvorgängen durch Primärmaßnahmen am Ort der Verbrennung (dies ist meist effektiver als eine Schadstoffminderung durch zusätzlich nachgeschaltete Aggregate, wie Katalysatoren oder Rußfilter)
- neue Einsatzstoffe für die Verbrennung (Erdgas und Wasserstoff in Kraftfahrzeugmotoren, zündträge Rückstandsöle in Großmotoren, Abfälle und regenerative Brennstoffe in Industrie- und Kraftwerksfeuerungen).

Vor diesem Hintergrund werden gegenwärtig zahlreiche Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet der Verbrennung durchgeführt:

- Detaillierte experimentelle und theoretische Untersuchung der chemischen Elementarprozesse der Verbrennung
- Numerische Simulation reaktiver Strömungen für praktische Verbrennungssysteme sowie Aufstellung von Datenbanken für die Verbrennungschemie
- Fluidmechanik, Turbulenz, Stoff- und Wärmeaustausch, Schadstoffentstehung und -reduktion bei Flammen
- Verbrennungsvorgänge in Brennkammern für Gasturbinen (experimentelle und rechnerische Untersuchungen im Hinblick auf die Wirkungsgradsteigerung, z.B. durch Erhöhung der Prozeßtemperatur)
- Staubfeuerung unter Druck

- Brennstoff/Luft-Verteilung vor der Verbrennung einschließlich Einspritzvorgänge unter Einsatz von Laser-Meßtechniken. Ein verbessertes Prozeßverständnis soll zu konstruktiven und verfahrenstechnischen Maßnahmen zur Optimierung des Verbrennungsablaufs führen.
- Experimentelle und numerische Untersuchungen der in dreidimensionalen Feuer-räumen ablaufenden Vermischungs- und Reaktionsvorgänge
- Wasserstoffeinsatz in der motorischen Verbrennung; detaillierte Untersuchung der Vermischungs-, Zünd- und Flammenausbreitungsvorgänge
- Einsatz von regenerativen Brennstoffen (z.B. Holz, getrocknete Klärschlämme) in Industrie- und Kraftwerksfeuerungen; untersucht wird hier das Verbrennungs- und Emissionsverhalten im Hinblick auf die Verbrennung in speziellen Feuerungs-systemen (z.B. Wirbelschicht), aber auch im Hinblick auf die Mitverbrennung in vorhandenen Kraftwerksfeuerungen. Ein weiterer Untersuchungsgegenstand ist die Heizflächenkorrosion.
- Thermische Verwertung von Reststoffen im Hinblick auf eine Minimierung der Emissionen (Wirbelschichtfeuerungen und Industrieöfen)
- Sicherheitsaspekte bei der Verbrennung (Explosions- und Detonationschutz, Feuersicherheit).

Gemeinschaftsforschung auf dem Gebiet der Verbrennung wird auf internationaler Ebene z.B. im Rahmen der International Flame Research Foundation (IFRF), Ijmuiden/NL, betrieben. In Deutschland sind unter Förderaspekten die Deutsche Vereinigung für Verbrennungsforschung (DVV), die Forschungsvereinigung Ver-brennungskraftmaschinen (FVV) und die VGB-Forschungstiftung zu nennen.

Stellungnahme

Die Verbrennung fossiler Energieträger prägt heute die Kraftwerks- und Feuerteknik und bildet damit die Grundlage für die Erzeugung sowohl von elektrischer Energie als auch von Raumwärme; dies wird mit hoher Wahrscheinlichkeit auch in der überschaubaren Zukunft so bleiben. Ebenso ist die motorische Verbrennung Grundlage des heutigen Antriebs der meisten Verkehrsmittel; auch dies wird sich in absehbarer Zeit nicht ändern. Dies gilt sowohl für Deutschland als auch weltweit.

Die Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Energieträgern wird als eine der Ursachen der weltweiten Zunahme des CO₂-Gehalts der Atmosphäre angesehen. Die Bundesregierung ist deshalb die Verpflichtung eingegangen, die CO₂-Emission bis zum Jahr 2005 um 25 % gegenüber dem Stand von 1990 zu reduzieren. Die technische Verbrennung ist außerdem Quelle von Luftschadstoffen (Schwefel- und Stickoxide, Kohlenmonoxid, Schwermetalle, Ruß) sowie für die Freisetzung unverbrannter Kohlenwasserstoffe.

Aus diesen Gründen ist die Forschung auf dem Verbrennungssektor sowohl im Kraftwerksbereich als auch bei den Verbrennungskraftmaschinen weiter voranzutreiben.

Auf der Grundlage eines besseren Verständnisses der bei Schadstoffbildungs- und Schadstoffreduktionsreaktionen ablaufenden Elementarvorgänge, der Strömungs-, Mischungs-, Wärme- und Stofftransportvorgänge sind

- Schadstoffminderung bei Verbrennungsprozessen und

- Effizienzsteigerung im Hinblick auf eine bessere Nutzung der Brennstoffe (Ressourcenschonung)

weiterhin vorrangige Forschungsziele.

Darüber hinaus werden folgende Forschungsthemen längerfristig zu bearbeiten sein:

- Nutzung regenerativer Brennstoffe ("CO₂-neutrale" Verbrennung, d.h. bei der Verbrennung wird nicht mehr CO₂ freigesetzt als bei der zeitnahen Bildung der Brennstoffe der Atmosphäre entzogen wurde)
- Feuerungssimulation für andere als atmosphärische Kohlenstaubfeuerungen (Druckkohlenstaubfeuerung, Reststoffverbrennungsanlagen, Wirbelschichtfeuerungen, Industrieöfen)
- Vergasung und anschließende Verbrennung von biogenen Brennstoffen und Reststoffen im Hinblick auf kombinierte Gas-/Dampfturbinenprozesse
- Mitverbrennung von biogenen Brennstoffen und Reststoffen in Kraftwerksfeuerungen
- Verbrennung unter Druck sowie gestufte Verbrennung mit dem Ziel verminderter Schadstoffemission
- Übergang vom Einsatz von Rohbraunkohle zur Trockenbraunkohle in der Kraftwerksfeuerung.

Die Verbrennungsforschung ist in Deutschland eine Domäne der Hochschulen. Eine Vielzahl von Hochschulinstituten befaßt sich mit einschlägigen Fragestellungen. Die Förderung entsprechender Vorhaben erfolgt im Bereich der Grundlagenforschung vor allem durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft, z.B. Sonderforschungsbereiche in Aachen, Göttingen, Hamburg-Harburg, Heidelberg, Karlsruhe und Stuttgart (vgl. Abschnitt B.II.4.).

Die Industrie, die auf Verbrennungsvorgängen basierende Produkte anbietet, ist breit gefächert (Kraftfahrzeugindustrie, Kraftwerksbau, Industrieofenbau, Haushaltskessel, Anlagenbau für Rückstandsverbrennung). Traditionell handelt es sich dabei nicht nur um Industriezweige, die für den deutschen Markt, sondern auch für den Export bedeutsam sind. Diese Industrieunternehmen finanzieren auch die Lösung spezieller verbrennungstechnischer Probleme durch Hochschulinstitute.

Das Spektrum der Anwendungen von Verbrennung ist breit und die Zahl der Nutzer entsprechender Erkenntnisse groß. Durch Fortschritte in Forschung und Entwicklung können zahlreiche Verbesserungen mit großer Breitenwirkung erzielt werden. Dies soll am Beispiel der Kraftfahrzeuge erläutert werden:

In den vergangenen 25 Jahren wurden große Fortschritte bei der Verbrauchs- und Emissionsreduzierung von Kraftfahrzeugen erzielt. Gleichwohl besteht weiterhin bei Öffentlichkeit und staatlicher Seite die Erwartung, durch Systemoptimierungen für "reinere Luft" zu sorgen. Während Verbrennungsmotorantriebe mit Blick auf Kosten und Leistungsgewicht gute Erfolge verzeichnen konnten, haben sie im Hinblick auf spezifischen Kraftstoffverbrauch und Emissionen ihr Potential noch nicht ausgeschöpft.

Beispiele für technische Entwicklungen, die zu kumulierten Verbrauchsreduzierungen bis zu 30 % führen können, sind beim Ottomotor Schichtladeverfahren, variable Ventilsteuerung, Direkteinspritzung und optimierte Verbrennung. Entsprechend sind dies beim Dieselmotor verbesserte Aufladetechnik, optimierte Prozeßführung und Hochdruckeinspritzung mit einem kumulierten Verbesserungspotential von 20-25 %.

Durch Bündelung gezielter Maßnahmen, wie elektronisches Motormanagement, Entwicklung von Magermotoren, Abgasrückführung, Aufladung der Verbrennungsluft, Optimierung des gesamten Antriebsstranges einschließlich der Hilfsaggregate sowie Reduzierung der Kühlverluste, an denen intensiv gearbeitet wird, können weitere Verbesserungspotentiale erschlossen werden. Hierzu ist eine ganzheitliche, systemhafte Betrachtungsweise notwendig: Motor und Kraftstoff müssen als ein System gesehen und entsprechend optimiert werden.

Die wirtschaftliche Bedeutung der technischen Verbrennung und die staatliche Förderung dieses Forschungsgebietes entsprechen einander zur Zeit nicht. Wünschenswert wäre sowohl im Hinblick auf die CO₂-Minderungsziele als auch im Sinne einer weiteren Stärkung der leistungsfähigen, stark exportorientierten Industrieunternehmen eine wesentliche Verstärkung der Forschungsförderung auf diesem Gebiet anstelle der in den letzten Jahren erfolgten Absenkung. Der jetzige Umfang bei der von BMBF und BML geförderten Energieforschung entspricht in keiner Weise der praktischen Bedeutung von Kraftwerkstechnik und Verbrennungsforschung für die Energiewirtschaft und die deutsche Exportwirtschaft. Es gibt nur eine vergleichsweise geringe Förderung der Verbrennungsforschung durch das BMBF; Ausnahmen sind das jetzt auslaufende TECFLAM-Programm und die verhältnismäßig kleine Druckflam-Initiative sowie die Förderung der Gasturbinentwicklung im Rahmen der AG Turbo.

Hierzu einige Zahlen: die Planzahlen 1998 liegen bei 34,1 Mio. DM für Kraftwerkstechnik und Verbrennungsforschung und machen einen Anteil von 4,5 % an der mit 755 Mio. DM von BMBF und BML finanzierten Energieforschung⁴³⁾ aus, während in den USA (Energy Research and Development) für "Fossile Energien" im Förderjahr 1997 365 Mio. US \$ veranschlagt wurden, was einem Anteil am gesamten FuE-Budget für Energieforschung von 28,5 % entspricht. Für die folgenden Jahre sind in USA weiter zunehmende Förderungen, beispielsweise auf dem Gebiet der Verbrennungssimulation vorgesehen. Angesichts der Bedeutung der Grundlagenforschung für die Lösung praktischer Probleme in der Verbrennungstechnik, vor allem im Hinblick auf Verbrauchs- und Emissionsreduzierung ist auch in Deutschland ihre verstärkte Förderung dringend angezeigt. Es ist unverständlich, daß die Förderung des erfolgreichen, international hoch angesehenen TECFLAM-Programms nicht fortgesetzt wird. Neben diesem regional begrenzten Programm erscheint eine langfristige nationale Förderung der grundlegenden Verbrennungsforschung erforderlich.

1.2. Dampf- und Gasturbinen

⁴³⁾ BMBF: 4. Programm Energieforschung und Energietechnologien, Bonn 1997, S. 111.

Dampf- und Gasturbinen dienen dem Antrieb von Generatoren und Arbeitsmaschinen wie Verdichtern und Pumpen. Unter Gasturbine versteht man im allgemeinen ein Aggregat bestehend aus Verdichter, Brennkammer und Turbine, bei dem die Energie in der Brennkammer zugeführt wird; das Arbeitsmedium ist heißes Verbrennungsgas. Die Differenz zwischen Turbinen- und Verdichterleistung ist die nutzbare Antriebsleistung; bei Turboflugtriebwerken kann diese zum Antrieb eines Propellers und/oder die kinetische Gasaustrittsenergie als Schub genutzt werden. Bei Dampfturbinen wird die Energie im allgemeinen von einem stationären Dampferzeuger geliefert; das Arbeitsmedium ist Wasserdampf.

Thermische Strömungsmaschinen werden seit langem zum Antrieb von Generatoren zur Stromerzeugung, zum Antrieb von Verdichtern bei der Stahlerzeugung und bei Gasleitungen, von Pumpen zur Flüssigkeitsförderung, von bestimmten Arbeitsmaschinen und zum Antrieb von Flugzeugen und Schiffen, in Sonderfällen auch für Landfahrzeuge eingesetzt. Thermische Strömungsmaschinen eignen sich im allgemeinen für größere Leistungen, obwohl es auch im Bereich der Feinmechanik wichtige Anwendungsgebiete gibt und im Kraftfahrzeugbau die Abgasturbolader von Bedeutung sind.

Forschungsschwerpunkte sind

allgemein

- weitere Verbesserung der Wirkungsgrade
- Reduktion der Lärmemissionen
- Optimierung von GuD-Prozessen⁴⁴⁾
- Erhöhung der Verfügbarkeit
- Verbesserung der Berechnungsverfahren für dreidimensionale, verlustbehaftete, instationäre Strömungen in Turbomaschinen für Voll- und Teillastzustände

speziell für Dampfturbinen

- Anhebung der Dampftemperaturen auf über 700 °C durch Materialentwicklung
- Weiterentwicklung der Beschaufelung
- Verbesserung der Abströmverhältnisse in Niederdruck-Kondensations-Turbinen

⁴⁴⁾ GuD-Turbinen = Gas- und Dampfturbinen.

speziell für Gasturbinen

- Erhöhung der Gasturbinen-Eintrittstemperatur auf über 1.500 °C im Dauerbetrieb durch Materialentwicklung und effizientere Schaufelkühlsysteme

speziell für Axialverdichter

- Niedergeschwindigkeitsbeschaufelung
- Vergrößerung des stabilen Kennfeldes

Bedeutende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf diesem Sektor werden sowohl in Industrieunternehmen als auch in öffentlich finanzierten Einrichtungen geleistet. Aufgrund der hohen wirtschaftlichen Bedeutung von Gas- und Dampfturbinen sind diese ein wichtiger Gegenstand industrieller Forschung und Entwicklung; dies führt dazu, daß diese Arbeiten zur Sicherung des technologischen Vorsprungs gegenüber Wettbewerbern zu einem hohen Anteil unternehmensintern durchgeführt und nicht offengelegt werden.

1.3 Kraftwerke

Ausgangslage

Weltweit wurde im Jahr 1997 der größte Anteil an elektrischer Energie auf der Basis fossiler Brennstoffe wie Kohle, Erdgas und Erdöl erzeugt. Die Hauptziele bei der Weiterentwicklung fossilbefuerter Kraftwerke sind hohe Wirkungsgrade zur Schonung der Energieressourcen und zur Reduzierung der Umweltbelastungen durch Staub, CO₂, Schwefel- und Stickoxide sowie niedrige Life-Cycle-Kosten zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit.

Hohe Wirkungsgrade waren schon in der Vergangenheit für die Entwicklung der Kraftwerkstechnik ausschlaggebend. Durch technische Verbesserungen konnte der Wirkungsgrad bei Kohlekraftwerken in den letzten 100 Jahren mehr als verzehnfacht werden. Entsprechend stark sind der durchschnittliche Brennstoffeinsatz und die Umweltbelastungen zurückgegangen. Während um 1890 für die Erzeugung einer Kilowattstunde (kWh) Strom noch etwa 3,7 kg Steinkohle benötigt wurden,

waren es 1950 nur noch 680 g. Heute erreicht ein modernes Kohlekraftwerk Wirkungsgrade von über 45 % und verbraucht hierfür weniger als 300 g Kohle je kWh. Dementsprechend beträgt die CO₂-Emission nicht mehr 10 kg wie vor 100 Jahren, sondern nur noch 0,8 kg je kWh.

Die heutigen Werkstoffe ermöglichen Dampftemperaturen von ca. 620 °C. Der Wirkungsgrad fossilbefeuertter Kraftwerke läßt sich im wesentlichen durch Anhebung der Dampfparameter Druck und Temperatur erhöhen. Dies setzt zum einen eine Weiterentwicklung von Werkstoffen, zum anderen die Verbesserung von Komponenten und Prozessen voraus.

Die gleichzeitige Nutzung von Kohle und Gas in Verbundkraftwerken ist eine Alternative zur reinen Kohlefeuerung. Bei einem Verbundblock wird ein Kohlekraftwerk mit einer Gasturbine gekoppelt. Das heiße Abgas der Gasturbine erzeugt dabei in einem Abhitzeessel zusätzlichen Dampf für die Dampfturbine des Kohlekraftwerks. Vorteile dieses Kraftwerkstyps sind die gegenüber konventionellen Kohlekraftwerken rund 10 % niedrigeren spezifischen Investitionskosten, die um mehr als 20 % geringeren CO₂-Emissionen, die hohe Betriebsflexibilität sowie der höhere Wirkungsgrad. Mit effizienten Gasturbinen und mit Kohlekraftwerken, die hohe Dampfdrücke und Dampftemperaturen aufweisen, lassen sich derzeit für Verbundkraftwerke Wirkungsgrade von 48 bis 50 % erreichen.

Noch höhere Wirkungsgrade werden schon heute durch die Kombination von Gas- und Dampfturbine in einer Gas- und Dampfanlage auf der Basis von Erdgas erreicht. Bei diesem Prozeß wird das heiße Abgas der Gasturbine in einem unbefeuerten Abhitzeessel zur Erzeugung von Dampf für die nachgeschaltete Dampfturbine genutzt. Die Wirkungsgrade der neuesten Gasturbinen liegen bei 38 %, bei Gas- und Dampfanlagen über 58 %. Im Gas- und Dampfprozeß werden derzeit die höchsten Wirkungsgrade aller fossilbefeuerten Kraftwerke erreicht. Die schadstoffarme Verbrennung von Erdgas trägt dazu bei, daß das Gas- und Dampfkraftwerk der umweltschonendste konventionelle Kraftwerkstyp ist.

In den vergangenen Jahren wurden bei der Gasturbinenentwicklung auf den Gebieten Schaufelkühlung, Werkstofftechnik, Strömungsführung und Verbrennungsprozeß große Fortschritte erzielt. Die damit mögliche Steigerung der Turbinenein-

trittstemperatur und Verbesserung der Komponentenwirkungsgrade brachten eine deutliche Erhöhung der Leistung und des Wirkungsgrads von Gasturbinen. Die Brennkammer und die optimierte Strömungsführung der Schaufeln sowie der Schaufelwerkstoff und die Filmkühlung sind prägende Merkmale moderner Gasturbinen.

Die heutigen Eintrittstemperaturen bei stationären Gasturbinen liegen in der Größenordnung von 1.400 EC. Dabei gehören die Schaufeln zu den höchstbeanspruchten Bauteilen mit Materialtemperaturen von etwa 900 EC. Als Schaufelwerkstoffe werden Nickel- und Kobalt-Legierungen (Ein- oder Polikristall) verwendet.

Die Kombination von Gas- und Dampfturbine kann nicht nur für Gas, sondern zukünftig auch für weitere Brennstoffe wie Kohle, Biomasse oder Rückstände aus Raffinerien Verwendung finden. Auch diese Brennstoffe können so effizienter zur Stromerzeugung genutzt werden. Den größten Erfolg versprechen hierbei Kraftwerke mit integrierter Vergasungsanlage. In Europa wurde dieses Konzept in den Niederlanden für Kohle und in Spanien für einen Mischbrennstoff aus Kohle und Petroleumkoks realisiert. Der Brennstoff wird dabei vergast, das Gas gereinigt und dann in einer Gasturbine mit nachgeschaltetem unbefeuertem Abhitzekegel genutzt. Mit heutiger Gasturbinentechnik lassen sich damit Wirkungsgrade von über 50 % erreichen.

Brennstoffnutzungsgrade bis etwa 90 % sind bei der gleichzeitigen Gewinnung von nutzbarer Wärme und elektrischer Energie in der sogenannten Kraft-WärmeKopplung möglich. In vielen Fällen kann durch Kraft-Wärme-Kopplung der eingesetzte Energieträger stärker genutzt werden als bei der getrennten Erzeugung von Strom in Kondensationskraftwerken und Wärme in Heizkraftwerken. Allerdings müssen die entsprechenden Voraussetzungen, nämlich ein weitgehend zeitgleicher Wärme- und Strombedarf gegeben sein. Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet der Kraftwerkstechnik werden zu einem großen Teil von Industrieunternehmen sowie von Universitäten geleistet.

Stellungnahme

Da Kohle auch künftig für die Stromversorgung eine wichtige Rolle spielen wird, ihre Verbrennung aber auch als wesentliche Quelle des Treibhausgases CO₂ gilt, muß die Weiterentwicklung der Kohlekraftwerkstechnologie hin zu noch höheren Wirkungsgraden und geringeren Emissionen aus Feinstaub, Rauchgas, Kohlendioxid sowie Schwefel- und Stickoxiden ein wichtiges Ziel bleiben. Um den Wirkungsgrad noch weiter zu steigern, sind erhebliche Aufwendungen für eine interdisziplinäre Forschung und Entwicklung nötig.

Hinsichtlich der zukünftig zu erwartenden Wirkungsgrade ergibt sich bei fossilbefeueren Kraftwerken folgendes Bild: Mit Kohlekraftwerken, die im Verbund mit einer Gasturbine arbeiten sowie mit Dampftemperaturen von 700 EC und Dampfdrücken von 350 bar sollten künftig Wirkungsgrade von über 50 % erreicht werden. Zur Realisierung höherer Dampftemperaturen muß an einer weiteren Verbesserung der Werkstoffe sowie der Strömung in Turbine und Rohrleitungen gearbeitet werden. Im unteren und mittleren Leistungsbereich stellen Kohlekraftwerke mit Druckwirbelschichtfeuerung ein alternatives Konzept dar.

Die höchsten Wirkungsgrade besitzen GuD-Kraftwerke auf Erdgasbasis. Infolge der als realisierbar erkannten Maßnahmen im Dampfteil der GuD-Anlagen und der absehbaren Weiterentwicklung der Gasturbine durch Verbesserung der Komponentenentwicklung, der Werkstoffe sowie der Schutz- und Wärmedämmschichten dürfte Ende dieses Jahrzehnts ein Wirkungsgrad von 60 % überschritten werden. Durch Integration einer Vergasungsanlage kann dieser Kraftwerkstyp auch für Brennstoffe wie Kohle, Biomasse und Rückstände aus Raffinerien Anwendung finden.

Weltweit hat sich in den letzten Jahren der Wettbewerb bei konventionellen Stromerzeugungsanlagen intensiviert. Als Folge davon haben sich die Preise pro kWh installierter Leistung teilweise halbiert. Im Gegensatz zu Deutschland werden in den USA moderne Kohletechnologien, insbesondere große GuD-Demonstrationsanlagen mit integrierter Vergasungsanlage, bis zu 50 % vom US-Department of Energy (DOE) gefördert. Auch die Gasturbinenentwicklung wird durch das Programm Advanced Turbine Systems intensiv vom DOE gefördert. In Deutschland besteht keine vergleichbare Förderung fossilbefeuerter Kraftwerke.

Künftige Entwicklungen im Kraftwerksbau werden sich nicht nur auf die weitere Erhöhung des Wirkungsgrads, neue Werkstoffe und verbesserte Prozesse sowie die Vergrößerung der Einheitsleistungen beschränken. Für niedrige Life-Cycle-Kosten, d.h. spezifische Stromerzeugungskosten über die gesamte Lebenszeit eines Kraftwerks, müssen darüber hinaus niedrige Investitionskosten und hohe Verfügbarkeit angestrebt werden. Dies ist durch Anpassung modernster Komponententechnik an modulare Konzepte auf der Basis einer bewährten Prozeßtechnik möglich.

Nur durch ständige Weiterentwicklung der Wartungsstrategie sowie der immer komplexeren Leittechniksysteme können die steigenden Anforderungen an Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit der Anlagen erfüllt werden. Auch hier besteht Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

III.2. Nukleare Energie

2.1. Kernspaltung

Ausgangslage

Seit Beginn der Stromerzeugung in Kernkraftwerken in den 50er Jahren hat deren Umfang stetig zugenommen. Der Anteil der Kernenergie an der Stromerzeugung betrug weltweit im Jahr 1996 mit rund 2.300 Terawattstunden (entspricht 8.300 PJ; 1 TWh = 10^9 kWh)⁴⁵⁾ etwa 17 %⁴⁶⁾. Insgesamt produzieren 17 Länder mehr als ein Viertel ihres elektrischen Stromes mit Hilfe von Kernkraftwerken, in neun Ländern sind es sogar über 40 %. In Deutschland machte der Anteil 1997 mit 170 TWh etwa ein Drittel der Gesamtstromerzeugung aus.⁴⁷⁾

(1) Kernkraftwerke

Weltweit sind derzeit 433 Kernkraftwerke in 33 Ländern mit einer installierten elektrischen Leistung von rund 368 Gigawatt ($\text{GW} = 10^9$ Watt) in Betrieb. In Deutschland werden 19 Kernkraftwerke mit einer installierten Leistung von 22 GW_e betrieben.⁴⁸⁾ Die deutschen Reaktoren zeichnen sich durch eine sehr hohe Verfügbarkeit aus, die im Jahr 1997 bei durchschnittlich 92 % (bezogen auf die installierte Nettoleistung) lag. Der weitere Ausbau der Kernenergie vollzieht sich derzeit in Osteuropa, den Nachfolgestaaten der Sowjetunion und in Asien. Von den 46 in 17 Ländern im Bau befindlichen Kraftwerken liegen 40 in diesen Regionen.

Die Reaktortechnik wird in verschiedenen Ländern mit dem Ziel weiterentwickelt,

⁴⁵⁾ Vgl. Tabelle 4 im Anhang

⁴⁶⁾ Nuclear Power Status, IAEA, 1998.

⁴⁷⁾ Kernenergiebilanz 1997, in: Atomwirtschaft, Vol. 43, 1998, S. 134.

⁴⁸⁾ Kernkraftwerke 1997, Weltübersicht, in: Atomwirtschaft, Vol. 43, 1998, S. 197.

eine inhärente⁴⁹⁾ bzw. passive Sicherheit der Reaktoren zu erreichen. Neue Reaktorgenerationen werden gegenwärtig in den USA, in Japan und Europa entwickelt.

Im Rahmen einer deutsch-französischen Kooperation wird der europäische Druckwasser-Reaktor EPR (European Pressurized Reactor) entwickelt. Dieser Leichtwasser-Reaktor (LWR) stellt eine Weiterentwicklung der weltweit etablierten Druckwasser-Reaktortechnik dar und ist für eine Leistung von etwa 1.500 Megawatt (MW) (elektrisch) konzipiert. Sein Sicherheitssystem ist so ausgelegt, daß auch schwerste Unfälle so beherrscht werden können, daß ihre Auswirkungen auf die Reaktoranlage beschränkt bleiben. Dadurch lassen sich die hohen Sicherheitsanforderungen erfüllen, die 1994 durch das Artikelgesetz im deutschen Atomgesetz⁵⁰⁾ festgeschrieben wurden. Es ist vorgesehen, den EPR verfügbar zu haben, wenn ab Mitte des nächsten Jahrzehnts möglicherweise ältere Kraftwerke stillgelegt werden.

Ein bei einem deutschen Unternehmen entwickelter Siedewasserreakortyp (SWR-1000) verfolgt ein Sicherheitskonzept, das eine Verringerung der Ausfallwahrscheinlichkeit der Sicherheitssysteme vorsieht. Dazu werden einige aktive Sicherheitseinrichtungen durch passive ersetzt oder mit ihnen kombiniert. Die Wirkung passiver Systeme beruht ausschließlich auf physikalischen Phänomenen (Gravitation, natürliche Konvektion oder Verdampfung). Ihre Effektivität ist unabhängig von Operatoreingriffen.

Der in Deutschland entwickelte Hochtemperatur-Reaktor (HTR) mit einer Leistung von 100 - 300 MW (elektrisch) gewährt durch Verwendung feuerfester Graphitlegierungen für den Brennstoff inhärente Sicherheit vor Kernschmelzunfällen. Die Prototyp-Anlage in Hamm-Uentrop und einige Testanlagen (u.a. am Forschungszentrum Jülich) werden gegenwärtig nicht mehr betrieben. In Japan und China wird der HTR derzeit weiterentwickelt. Auch Südafrika beabsichtigt den Bau von Hochtemperatur-Reaktoren.

⁴⁹⁾ "Ein technisches System wird als inhärent sicher bezeichnet, wenn es aus sich selbst heraus, also ohne Hilfsmittel, Hilfsenergie und aktive Komponenten, sicher arbeitet." nach: W. Koelzer, Lexikon zur Kernenergie, Forschungszentrum Karlsruhe, 1997.

⁵⁰⁾ § 7 Abs. 2a Atomgesetz.

Die Entwicklung von Brutreaktoren, in denen schwer spaltbares Uran-238 durch Neutroneneinfang zu leicht spaltbarem Plutonium-239 umgewandelt ("erbrütet") wird, wird in Deutschland nicht mehr weiterverfolgt.

Bei einem von Carlo Rubbia vorgeschlagenen Reaktor auf der Basis von Uran oder Thorium (Rubbia-Energy Amplifier) werden die für die Kettenreaktion notwendigen zusätzlichen Neutronen durch Spallation über einen Protonenbeschleuniger erzeugt. Dieser Reaktortyp wird auch in Zusammenhang mit der Actinidenverbrennung (Transmutation) diskutiert. Ähnliche Konzepte werden seit einigen Jahren auch in den USA (Los Alamos) verfolgt.

(2) Kernbrennstoffversorgung

Die sicheren Reserven an Uran in Erzen mit einem relativ hohen Urangehalt von etwa 0,3 % betragen rund 10 Mio. t und würden bei heutigem Bedarf an Natururan (ca. 50.000 t pro Jahr) für etwa 200 Jahre reichen. Berücksichtigt man auch weniger ergiebige Erze, so reichen die Vorräte einige 1.000 Jahre (vgl. Übersicht 11 im Abschnitt A.I.5.). Die Rückgewinnung von Uran und von im Reaktor gebildetem spaltbarem Plutonium aus abgebrannten Brennelementen (Wiederaufarbeitung) und ihre Rezyklierung führen zu einer Verlängerung der Uranreserven und könnten eine langfristige Nutzung der Kernenergie gewährleisten.

Bei der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente werden Uran und Plutonium von den entstandenen Spaltprodukten und von anderen Actiniden (wie Np, Am, Cm (Minor Actinides)), abgetrennt, um nach geeigneter Aufbereitung zu UO_2/PuO_2 -Mischoxid-Brennelementen (MOX-BE) wieder in Kernreaktoren zur Energiegewinnung eingesetzt zu werden. Die derzeitige Kapazität zur Herstellung von UO_2/PuO_2 -Mischoxid-Brennelementen liegt bei etwa 240 t pro Jahr. Die Kapazität der kommerziellen Wiederaufarbeitungsanlagen der Welt beträgt zur Zeit rund 5.200 t Schwermetall Uran bzw. Plutonium pro Jahr. Damit kann etwa die Hälfte der jährlich anfallenden abgebrannten Brennelemente aufgearbeitet werden. Die größten Anlagen stehen in Frankreich und Großbritannien mit insgesamt rund 4.600 t Schwermetall pro Jahr. In diesen Anlagen werden auch Brennelemente aus Deutschland und anderen Ländern aufgearbeitet. Die deutschen Kernkraftwerksbetreiber haben mit der französischen COGEMA und der britischen BNFL Verträge

über die Wiederaufarbeitung von rund 8.000 t abgebrannter Brennelemente abgeschlossen. In Deutschland wurde eine Anlage zur MOX-BE-Fertigung mit einer Kapazität von 120 t pro Jahr nahezu fertiggestellt, aber aufgrund einer noch nicht erteilten Genehmigung nicht in Betrieb genommen. Mit dieser Anlage könnte das gesamte in deutschen Kernkraftwerken anfallende Plutonium zu Mischoxid-Brennelementen verarbeitet werden.

(3) Entsorgung

Eine sichere Entsorgung radioaktiver Abfälle ist Bestandteil der Kernenergienutzung und eine der wichtigsten Voraussetzungen für ihre Akzeptanz. Für schwach- und mittelaktive Abfälle (vernachlässigbare Wärmeleistung) wird in einigen Ländern eine oberflächennahe Endlagerung favorisiert und teilweise bereits praktiziert. Ein Endlager für hochradioaktive, d.h. wärmeentwickelnde Abfälle steht dagegen derzeit noch nicht zur Verfügung. Es werden aber in vielen Ländern FuE-Arbeiten zur Standortcharakterisierung und zum Langzeitsicherheitsnachweis durchgeführt. In Deutschland gilt die direkte Endlagerung abgebrannter Brennelemente ebenso als Entsorgungsnachweis wie ihre Wiederaufarbeitung. Künftig werden demnach neben Abfällen aus der Wiederaufarbeitung auch abgebrannte Brennelemente direkt endgelagert. Nach dem Atomgesetz ist die Endlagerung radioaktiver Abfälle eine staatliche Aufgabe, die vom Bund wahrzunehmen ist.

Bis 1990 wurden weltweit aus den Kernkraftwerken rund 115.000 t abgebrannte Brennelemente entladen; pro Jahr sind dies zur Zeit knapp 11.000 t. Bis zum Jahr 2010 werden kumulativ etwa 316.000 t abgebrannte Brennelemente angefallen sein. In Deutschland betrug das Gesamtaufkommen an abgebrannten Brennelementen bis 1994 5.660 t (ohne ehemalige DDR). Bei einem mittleren Abbrand von 36 GWd/t (im Jahr 1992) fielen jährlich etwa 500 t mit rund 5 t Plutonium an. Bis zum Jahr 2000 soll der mittlere Abbrand auf 45 GWd/t angehoben werden, dadurch verringert sich die Menge an abgebranntem Brennstoff pro Jahr auf rund 400 t mit etwa 4,5 t Plutonium. Insgesamt werden bis zum Jahr 2000 rund 8.300 t abgebrannte Brennelemente anfallen.

Radioaktive Abfälle werden entsprechend ihrer spezifischen Aktivität in schwach-, mittel- und hochradioaktive Abfälle eingeteilt. Vor dem Hintergrund einer Endlage-

nung werden in Deutschland die Abfälle in nichtwärmeentwickelnde und wärmeentwickelnde unterschieden. Nach einer Aufstellung des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) werden für das Jahr 2010 insgesamt 173.200 m³ konditionierte (d.h. verdichtete und behandelte) Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung und 9.300 m³ konditionierte wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle (hierin enthalten sind auch die nicht aus der Kerntechnik stammenden Abfälle, z.B. aus Medizin, Forschung) prognostiziert. Die wärmeentwickelnden Abfälle machen etwa 5 % des gesamten Abfallvolumens aus und enthalten praktisch die gesamte Radioaktivität.

Zur Zeit sind in Deutschland folgende Endlager in Betrieb oder in Planung: In das von der DDR betriebene Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben, ein ehemaliges Salzbergwerk (Eram) in Sachsen-Anhalt, wurden seit 1981 schwach- und mittelradioaktive Abfälle mit sehr geringen Anteilen an Alpha-Strahlen eingelagert. Mit der deutschen Vereinigung ging 1990 das Endlager Morsleben in die Zuständigkeit des Bundesamtes für Strahlenschutz über. Der Einigungsvertrag sah die Dauerbetriebsgenehmigung bis zum 30. Juni 2000 vor, nach der Novellierung des Atomgesetzes 1997 soll der Betrieb bis zum Juni 2005 verlängert werden. In das ehemalige Eisen-erzbergwerk Konrad bei Salzgitter sollen feste radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung eingelagert werden. Die Inbetriebnahme ist für die Jahrtausendwende vorgesehen. In dem geplanten Endlager Gorleben in Niedersachsen (z.Zt. untertägige Erkundung) sollen in einem Salzstock alle Arten fester und verfestigter radioaktiver Abfälle eingelagert werden. Insbesondere ist es für wärmeentwickelnde Abfälle aus der Wiederaufarbeitung und für abgebrannte Brennelemente vorgesehen.

Der sichere Einschluß radioaktiver Stoffe bei der Endlagerung der Abfälle in tiefen geologischen Formationen und ihr Abschluß von der Biosphäre beruhen auf einem System redundanter Barrieren (Multibarrierekonzept). Die einzelnen Barrieren sollen verhindern, daß Wasser als Transportmedium zu den Abfällen treten kann (Isolation) und daß bei einem eventuellen Wasserzutritt freigesetzte Radionuklide in die Biosphäre transportiert werden (Immobilisierung). Für jede dieser Barrieren müssen die wichtigsten geochemischen und physikalischen Prozesse identifiziert und quantifiziert werden, die zu einer Mobilisierung oder zu einer Rückhaltung der Radionuklide führen. Salzstöcke sind für die Lagerung radioaktiver und wärmeentwickelnder Abfälle besonders attraktiv, da Fremdkörper aufgrund der Plastizität des

Salzes mit der Zeit fest umschlossen werden, außerdem wegen ihrer Langzeitstabilität.

Als Alternative zur langfristigen Endlagerung wird in vielen Ländern untersucht, ob die langlebigen Transurane (Plutonium und die Minor Actinides) in speziellen Reaktoranlagen zu stabilen Spaltprodukten oder solchen mit deutlich kürzerer Halbwertszeit transmutiert werden können. Als geeignete Anlagen werden verschiedene Reaktortypen, aber auch beschleunigergetriebene unterkritische Anordnungen angesehen. FuE-Arbeiten zur Transmutation befassen sich neben grundlegenden kernphysikalischen Überlegungen auch mit der chemischen Abtrennung der Minor Actinides.

(4) Forschungsarbeiten

In vielen Ländern, die Kernspaltung zur Energiegewinnung nutzen, werden Forschungsarbeiten zur Entwicklung neuer Reaktorgenerationen, zur Reaktorsicherheit und zur Langzeitsicherheit der Endlagerung durchgeführt. Diese Vorsorgeforschung ist eng in internationale Kooperationen, z.B. im Rahmen der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEA), der Nuclear Energy Agency der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD-NEA) oder der Europäischen Union eingebunden. In Deutschland werden FuE-Arbeiten zu diesen Themen insbesondere in außeruniversitären Einrichtungen aber auch in Hochschulen durchgeführt. Auch hier sind die Arbeiten geprägt durch enge nationale und internationale Kooperationen.

Die außeruniversitären FuE-Arbeiten zur Kernspaltung konzentrieren sich vor allem auf die beiden Forschungszentren Jülich (FZJ) und Karlsruhe (FZK) der Helmholtz-Gemeinschaft; daneben wird vom Forschungszentrum Rossendorf (FZR) der Leibniz-Gemeinschaft die Ausbreitung von Radionukliden untersucht. Im FZJ werden im Forschungsschwerpunkt Energietechnik u.a. Arbeiten zur Reaktorsicherheit verfolgt. Dabei wird die thermische, chemische und mechanische Stabilität von Reaktorkernen auch bei extremen Störfällen untersucht. Im Bereich der Entsorgung konzentrieren sich die Arbeiten auf die Behandlung und Endlagerung von MTR- und HTR-Brennelementen (MTR = Material Testing Reactor). Zur Transmutation von langlebigen Radionukliden gibt es radiochemische Untersuchungen. Im For-

schungsbereich Energie des FZK werden begleitende Sicherheitsforschungen zum deutsch-französischen Gemeinschaftsprojekt EPR-Reaktor durchgeführt, wobei insbesondere Fragen zur Wasserstoffproblematik, zur Dampfexplosion und zur Kernschmelzkühlung behandelt werden. Ferner gibt es generische Untersuchungen zu Systemen mit passiven und inhärenten Sicherheitseigenschaften. Im CAPRA⁵¹⁾-Projekt, einem Projekt im Rahmen der europäischen Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Entwicklung Schneller Reaktoren, werden Studien zur Actinidentransmutation durchgeführt. Die Arbeiten zur Nuklearen Entsorgung konzentrieren sich auf die Sicherheitsforschung zur Endlagerung radioaktiver Abfälle, wobei geochemische Aspekte zum Migrationsverhalten langlebiger Radionuklide in den einzelnen Barrieren des Endlagersystems im Vordergrund stehen. Ein Schwerpunkt liegt dabei in der Geochemie der Actinide. Außerdem werden Arbeiten zur Immobilisierung von hochradioaktiven Abfalllösungen durch Verglasung durchgeführt. Im FZR wird die Ausbreitung von Radionukliden in der Umwelt untersucht. Insbesondere werden Fragestellungen aus der Hinterlassenschaft der Uranerzgewinnung verfolgt.

Daneben werden FuE-Arbeiten zur Energiegewinnung durch Kernspaltung vor allem an den Universitäten Aachen, Bochum, Braunschweig, Dresden, Hannover, Karlsruhe und Stuttgart durchgeführt. Der Großteil der Forschungsarbeiten befaßt sich mit Themen aus Reaktorphysik, Reaktortechnik und insbesondere Reaktorsicherheit. Dabei geht es u.a. um Sicherheitsanalysen von Kernkraftwerken, Diagnoseverfahren zur Fehlerfrüherkennung, Simulation von schweren Störfällen und deren Auswirkung auf Reaktorkomponenten und Containment sowie um die Analyse und Modellierung von dabei auftretenden Strömungs- und Transportvorgängen. In Lehrveranstaltungen werden die wissenschaftlichen und technischen Grundlagen vermittelt und akademischer Nachwuchs ausgebildet. Im Rahmen einer vom BMBF geförderten Initiative zur Sicherung des wissenschaftlichen Nachwuchses sind Doktorandenstellen (derzeit 15 Stellen) geschaffen worden.

Stellungnahme

⁵¹⁾ CAPRA: Consortium Accrue de Plutonium dans les Rapides (= Vermehrter Verbrauch von Plutonium in Schnellen Reaktoren).

Bei der dritten Weltklimakonferenz in Kyoto im Jahr 1997 erklärten sich die Industrieländer bereit, in den nächsten 15 Jahren die Treibhausgase um durchschnittlich 5,2 % (bezogen auf 1990) zu reduzieren. Nach heutigen Schätzungen wird die Weltbevölkerung in diesem Zeitraum um 15 - 20 % wachsen, der Strombedarf um 30 bis 50 %. Vor diesem Hintergrund erscheint der verstärkte Einsatz von emissionsarmer Energiebereitstellung notwendig. Die Nutzung der Kernenergie besitzt ein großes Potential zur Reduzierung der CO₂-Emissionen. Durch den Betrieb von Kernkraftwerken wurde im Jahr 1997 der globale Ausstoß von mehr als 2 Mrd. t CO₂ vermieden, das sind rund 10 % der Gesamtemission. Die derzeit im Bau befindlichen Kernkraftwerke vergrößern die vorhandene Kapazität um etwa 10 %.

Die Akzeptanz der Kernenergie in der Öffentlichkeit ist eng mit der Frage nach ihrer Sicherheit verknüpft. Dabei stehen die Reaktorsicherheit und die nukleare Entsorgung im Vordergrund. Die zur Klärung der genannten Sicherheitsfragen erforderlichen FuE-Arbeiten sind als gesellschaftliche Vorsorgeforschung angelegt.

Bei Kernreaktoren verbleibt wie bei anderen technischen Anlagen ein Risiko für den Fall, daß sämtliche voneinander unabhängigen aber redundanten Sicherheitseinrichtungen versagen. Forschungs- und Entwicklungsarbeiten müssen sich deshalb der Sicherheitserhöhung bei bestehenden Anlagen und der Entwicklung fortschrittlicher Reaktoren widmen, in denen auch schwerste Unfälle so beherrscht werden können, daß Maßnahmen zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlen außerhalb des abgeschlossenen Geländes der Anlage nicht erforderlich sind, wie dies in Deutschland für künftige Anlagen im Artikelgesetz festgeschrieben ist. Es sollte darauf eingewirkt werden, daß Mindestanforderungen für die Sicherheit kerntechnischer Anlagen weltweit eingehalten werden.

Neben einer primär auf die Sicherheit ausgerichteten Forschung sind auch FuE-Arbeiten zur technischen Weiterentwicklung der derzeitigen Reaktorkonzepte sowie die Befassung mit neuartigen, innovativen Reaktorkonzepten notwendig. Potentiale zur Verminderung von Kosten, um im Wettbewerb bestehen zu können, sollten ausgeschöpft werden.

Während die technische Entwicklungsarbeit von den Industriepartnern geleistet wird, werden die FuE-Arbeiten zu Sicherheitsaspekten von öffentlich geförderten Forschungseinrichtungen mit Industrieunterstützung durchgeführt. Diese Aufteilung ist zu begrüßen, ebenso wie die Durchführung von Sicherheitsforschung durch die außeruniversitären Forschungseinrichtungen.

Einige Universitäten führen in engem Kontakt mit Helmholtz-Zentren FuE-Arbeiten und Lehrveranstaltungen zur Reaktorphysik, Reaktortechnik und Reaktorsicherheit durch. Der Wissenschaftsrat betont die Notwendigkeit der Ausbildung des akademischen Nachwuchses und des Erhalts kerntechnischer Kompetenzen in Deutschland, die für den Betrieb der bestehenden Reaktoren und die damit verbundene Entsorgung unerlässlich sind. Aufgrund der in den vergangenen Jahren starken Reduzierung der Aktivitäten im Bereich der Kern- und Radiochemie besteht in Deutschland gegenwärtig die Gefahr, daß die Wissenschaft den internationalen Anschluß und ihr Know-how verliert. Die Kapazität der wenigen verbliebenden Einrichtungen in Universitäten und Forschungszentren, in denen noch FuE-Arbeiten auf dem Gebiet der Kern- und Radiochemie durchgeführt werden, muß mit angemessener Forschungsförderung erhalten werden, um die Kenntnisse zu bewahren und weiter zu vertiefen.⁵²⁾

Die sichere und dauerhafte Entsorgung der radioaktiven Abfälle, insbesondere der hochaktiven, muß gewährleisten, daß heutige und künftige Generationen ausreichend vor den Gefahren dieser Abfälle geschützt sind. Wegen der teilweise sehr langen Halbwertszeiten einzelner Radionuklide müssen Zeiträume betrachtet und Vorhersagen gemacht werden, die weit über das hinausgehen, was bei der Entsorgung konventioneller Abfälle üblich ist. Die Erarbeitung von belastbaren Aussagen zur Langzeitsicherheit stellt deshalb eine große wissenschaftliche Herausforderung mit weitreichender Bedeutung dar. Die Beurteilung der Langzeitsicherheit von Endlagern setzt die Kenntnis des Verhaltens langlebiger Radionuklide voraus, hauptsächlich sind dies Plutonium und die sog. Minor Actinides, aber auch einige Spaltprodukte, wie z.B. Technetium und Jod. Die geophysikalischen und geochemischen Prozesse, die im Nah- und Fernbereich eines Endlagers ablaufen können, müssen

⁵²⁾ Vgl. Wissenschaftsrat: Stellungnahme zum geplanten Institut für interdisziplinäre Isotopenforschung (IIF), Leipzig, in: Empfehlungen und Stellungnahmen 1997, Köln 1998, Bd. II, S. 197 ff.

erfaßt und ihre Auswirkung auf die Mobilität der Radionuklide in Bezug auf die Langzeitsicherheit untersucht werden.

Es gibt mittlerweile radioaktive Abfälle aller Kategorien, so daß die Einrichtung von Endlagern unabhängig von der weiteren Entwicklung der Kernenergie notwendig ist. In Deutschland ist die sichere Endlagerung Aufgabe des Bundes. Alle radioaktiven Abfälle sollen in tiefen geologischen Formationen endgelagert werden. Zur Zeit ist nur das Endlager Morsleben für schwach radioaktive Abfälle in Betrieb. Dem Bund fällt die Aufgabe zu, Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Endlagerung zu fördern. Dazu gehört die Möglichkeit zum experimentellen Arbeiten mit langlebigen Radionukliden (insbesondere den Actiniden). Eine enge internationale Zusammenarbeit ist essentiell, da die Endlagerproblematik alle Länder betrifft, die Kernenergie nutzen. Von großer Bedeutung ist auch hier die Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses.

Die Transmutation, d.h. die Überführung langlebiger Radionuklide in stabile oder kurzlebige Folgeprodukte, ist ein anderer denkbarer Entsorgungsweg. Die laufenden Forschungsarbeiten erstrecken sich auf kernphysikalische Untersuchungen und chemische Vorbehandlungsschritte. Sie finden ebenfalls im internationalen Rahmen statt und sollten weitergeführt werden. Bei der Beurteilung der Transmutation als Entsorgungsweg muß der erzielbare Gewinn an Langzeitsicherheit mit den möglichen zusätzlichen Risiken des notwendigen Kernbrennstoffkreislaufs und des Betriebs von Transmutationsanlagen (Reaktoren, Beschleuniger usw.) verglichen werden.

2.2. Fusion

Ausgangslage

Fusionsreaktionen sind die Energiequelle von Sonne und Sternen. Bei der Verschmelzung der beiden Wasserstoffisotope Deuterium und Tritium entsteht ein Helium-Kern, außerdem werden ein Neutron frei sowie große Mengen potentiell nutzbarer Energie: ein Gramm Brennstoff hat einen freisetzbaren Energieinhalt, der der Verbrennungsenergie von 11 t Kohle (Steinkohleeinheiten, SKE) entspricht.

Fusionsforschung als anwendungsorientierter Zweig der Plasmaphysik mit dem langfristigen Ziel der Nutzung der kontrollierten Kernfusion für die Energieversorgung entstand Anfang der 50er Jahre. Der Forschungszweig, zu dem eine ganze Reihe weiterer Bereiche von Physik, Materialforschung und Technologie beitragen, wurde zunächst vor allem in den USA, Rußland und Großbritannien vorangetrieben.

Entgegen der ursprünglich gehegten Erwartung eines raschen Durchbruchs zeigten sich bald gravierende Schwierigkeiten. Ende der 50er Jahre setzte sich international die Erkenntnis durch, daß zur Entwicklung der Fusion als Energiequelle ein Langzeitprogramm mit intensiver Grundlagenforschung nötig sei. Dies fand in Deutschland ebenso wie in anderen Ländern Ausdruck in der Etablierung besonderer Forschungseinrichtungen, wie z.B. des 1960 gegründeten Instituts für Plasmaphysik in Garching bei München.

Dieses Institut und andere Einrichtungen der deutschen Fusionsforschung kooperierten von Beginn an im Rahmen von EURATOM (European Atomic Energy Community) sehr eng mit anderen Einrichtungen der Fusionsforschung in Europa und weltweit. In dem bei der Europäischen Kommission koordinierten und in regelmäßigen Abständen extern evaluierten europäischen Fusionsforschungsverbund arbeiten z.Zt. etwa 2.000 Wissenschaftler in 14 sogenannten Assoziationen zusammen. Deutschland verfügt als einziges Land mit dem Institut für Plasmaphysik, dem Forschungszentrum Jülich und dem Forschungszentrum Karlsruhe über mehr als eine dieser Forschungsassoziationen. Das Institut für Plasmaphysik ist die größte der Forschungsassoziationen in Europa. Pro Jahr werden in der Europäischen Union z.Zt. etwa 400-450 Mio. ECU für die Fusionsforschung aufgewandt, davon finanziert die Kommission einen Anteil von 44 %. Die Ausgaben des Bundesministeriums für Bildung und Forschung für die Fusionsforschung beliefen sich in den letzten Jahren auf rd. 200 Mio. DM pro Jahr.⁵³⁾

⁵³⁾ Zu den Einzelheiten vgl. Europäische Kommission (Hrsg.): Input Documents for the 1996 Evaluation Board of the Community Fusion Programme, Brüssel 1996.

Für die Nutzung der Kernfusion für Zwecke der Energieversorgung müssen eine Reihe von grundlegenden physikalischen und technologischen Problemen gelöst werden:

- um in einem Plasma von hinreichender Dichte (ca. 10^{20} Teilchen/m³) eine selbsttragende Fusionsreaktion in Gang zu setzen, ist eine Temperatur von über 100 Mio. Kelvin erforderlich,
- das Fusionsplasma muß durch geeignete Mittel über hinreichend lange Zeit (3-4 Sekunden) eingeschlossen und von Verunreinigungen möglichst frei gehalten werden,
- die Fusionsenergie muß aus dem Reaktionsvolumen abgeführt und in eine verwertbare Energieform umgewandelt werden,
- beim Anlagenbetrieb kommt es zu einer hohen Belastung der Wandmaterialien, die eine werkstofftechnische Herausforderung darstellt.

Seit dem Beginn der Fusionsforschung in den 50er Jahren sind bei Plasmaheizung, Plasmaeinschluß und Energieabfuhr bedeutende Fortschritte erzielt worden. Die erreichten Plasmatemperaturen liegen mit rd. 400 Mio. Kelvin heute deutlich über der notwendigen Temperatur für den Fusionsbetrieb, wobei statt des langfristig als Kraftwerks-Brennstoff vorgesehenen Deuterium-Tritium-Plasmas häufig noch Deuterium-Plasma eingesetzt wird, das sich physikalisch ähnlich verhält. Entwicklungsbedarf existiert jedoch noch beim Plasmaeinschluß, obgleich in der französischen Anlage in Cadarache ein Plasma bei ca. 200 Mio. Kelvin und einer Dichte von 2×10^{19} /m³ für zwei Sekunden stabil gehalten werden konnte. Großer Entwicklungsbedarf besteht noch im Bereich der Reaktortechnologie.

Bei den Sternen erfolgt die Aufheizung bis zur Plasmazündung durch Kompression der anfänglichen Gaswolken infolge der eigenen Schwerkraft. Letztere hält sich im gezündeten Zustand mit dem Gasdruck des heißen Plasmas die Waage und sorgt so für den nötigen Zusammenhalt der Teilchen. Unter irdischen Bedingungen kann der Einschluß des Plasmas nicht durch Schwerkraft erfolgen, da diese nicht auf das

Zentrum des Reaktionsgefäßes gerichtet und viel zu klein ist. Seit Beginn der Fusionsforschung werden daher zwei andere Einschlußprinzipien erforscht:

Beim "Trägheitseinschluss" soll der in kleinen Kugeln ("Pellets") eingeschlossene Brennstoff aus Deuterium und Tritium durch von starker Laser- oder Teilchenstrahlung induzierte Implosionswellen für einen sehr kurzen Zeitraum zusammengepreßt und gezündet werden. Die bei den resultierenden thermonuklearen Mikroexplosionen abgegebene Energie soll dann durch geeignete Mittel abgeführt werden. Hierzu gibt es einen Forschungsvorlauf in den USA und zum Teil in Frankreich in nationalen Programmen, deren Zielparameter aber bisher die beim unten beschriebenen Magnetfeldeinschluß erreichten nicht übertreffen.

Die international abgestimmte Fusionsforschung konzentriert sich überwiegend auf das Prinzip des "Magneteneinschlusses". Da Plasmen elektrisch leitend sind, lassen sich ihre Bewegungen durch elektrische und magnetische Felder beeinflussen. In Fusionsanlagen, die dem Prinzip des Magneteneinschlusses folgen, wird daher das Plasma in einem Magnetfeldkäfig eingeschlossen und so von den materiellen Wänden ferngehalten.

Für die Umsetzung des magnetischen Plasmaeinschlusses sind eine Reihe von Magnetfeldkonfigurationen entwickelt worden. Die erfolgreichsten Konfigurationen, nach denen auch die entsprechenden experimentellen Anlagen benannt werden, sind die Stellarator- und die Tokamakkonfiguration, die das Fusionsplasma auf unterschiedliche Weise in einem ringförmigen ("toroidalen") Magnetkäfig einschließen. In einem einfachen toroidalen Magnetfeld können die Teilchen wegen der am Innenrand des Rings größeren Magnetfeldstärke nicht stabil eingeschlossen werden. Daher muß das Magnetfeld verdrillt werden. Diese Verdrillung kann auf zwei Wegen erreicht werden. Während die Verdrillung im Rahmen des Stellarator-konzepts von außen durch entsprechend geformte Magnetspulen erreicht wird, erfolgt dies beim Tokamakkonzept durch die Überlagerung des von äußeren flachen Spulen erzeugten Magnetfelds mit einem zusätzlichen Magnetfeld, das von einem Strom im Plasma selbst erzeugt wird. Tokamak-Anlagen können nur in sich wiederholenden Pulsen betrieben werden, deren Verlängerung und Verstetigung angestrebt wird. In Stellarator-Anlagen hingegen ist Dauerbetrieb möglich.

Die Mehrzahl der experimentellen Fusionsanlagen waren bis Ende der 60er Jahre Stellaratoren, die jedoch Mängel bei den Einschluß- und Stabilitätseigenschaften aufwiesen. Seit Ende der 60er Jahre gingen zahlreiche Laboratorien zu der in Rußland entwickelten Tokamak-Konfiguration über, mit der nicht nur bessere Einschluß- und Stabilitätseigenschaften, sondern auch höhere Plasmatemperaturen erreicht werden konnten. Zur Zeit stellt die Tokamak-Konfiguration den führenden Experimenttyp bei Fusionsanlagen nach dem Prinzip des Magneteinschlusses dar. In getrennten Experimenten haben die Tokamaks mittlerweile die für das Brennen des Plasmas erforderlichen Zielwerte für Temperatur und Dichte erreicht. Das Tokamak-Konzept liegt auch dem Großexperiment Joint European Torus (JET) im Rahmen des europäischen Fusionsforschungsverbundes zugrunde, das seit 1983 in Culham in Großbritannien betrieben wird und bis Ende 1999 läuft. In dieser Anlage gelang 1991 erstmals die Freisetzung einer signifikanten Menge von Fusionsenergie aus einem Deuterium-Tritium-Plasma.

Sowohl international, insbesondere in Japan, als auch in Europa wird in der Forschung neben dem Tokamak-Konzept weiterhin in verschiedenen Anlagen das Stellaratorkonzept verfolgt, das gegenüber dem Tokamak-Konzept zwar einen deutlichen Entwicklungsrückstand aufweist, dessen experimentelle Ergebnisse jedoch mit denen des Tokamak-Konzepts kompatibel sind und das durch die Fähigkeit zum Dauerbetrieb für eine spätere Kraftwerksnutzung besonders attraktiv ist. Ein fortgeschrittener Stellarator mit der Bezeichnung Wendelstein 7-X wird z.Zt. in Greifswald, in einem Teilinstitut des Max-Planck-Instituts für Plasmaphysik errichtet.

Ein Plasma geht in einen selbsttragenden Fusionsprozeß über, der mehr Energie abgibt als er benötigt, wenn das Produkt aus Plasmadichte, Plasmatemperatur und Energieeinschlußzeit einen bestimmten Minimalwert überschreitet. Im Verlauf der Fusionsforschung haben sich die Experimente diesem Ziel deutlich angenähert. Während etwa zu Beginn des JET-Experiments im Jahre 1983 dieses Ziel noch um einen Faktor 100 verfehlt wurde, liegen die Betriebswerte von JET heute lediglich noch um einen Faktor 2 bis 4 unter dem Zündungspunkt.

Das Erreichen der selbsttragenden Fusion ist aus physikalischen Gründen auch von der Größe des Reaktors abhängig. Ein solcher Reaktor steht zur Zeit noch nicht zur Verfügung. Aufgrund der Reife des Entwicklungsstandes dieser Reaktorlinie wird

der experimentelle Nachweis der selbsttragenden Fusion in einem Tokamak-Reaktor angestrebt. 1983 nahm eine europäische Studiengruppe die Arbeit für ein Nachfolgeexperiment zu JET, den sogenannten Next European Torus (NET) auf. 1985 wurde die Planung für einen Internationalen Thermonuklearen Experimentalreaktor (ITER) begonnen, der ebenfalls auf dem Tokamak-Prinzip beruht und deutlich größer als die bereits existierenden Tokamaks ausgelegt ist. Die Entscheidung über Bau und Standort dieser in weltweiter Kooperation (Europäische Union, Japan, Rußland, USA) geplanten und nach jetzigem Stand etwa 12 Mrd. DM kostenden Anlage ist noch nicht endgültig gefallen.

Stellungnahme

Der Zeitpunkt, wann die Fusionsenergie für eine wirtschaftliche Verwendung zur Verfügung stehen wird, läßt sich noch nicht bestimmen. Aus wissenschaftlicher Perspektive läßt sich jedoch feststellen, daß die Fusionsforschung seit ihren Anfängen in den 50er Jahren mittlerweile bedeutende Fortschritte gemacht hat und sich gegenwärtig in der Phase des Übergangs von der reinen Grundlagenforschung hin zur anwendungsorientierten Grundlagenforschung befindet. Die in Fachkreisen diskutierte Möglichkeit der Errichtung eines Demonstrationskraftwerks etwa im dritten Jahrzehnt des nächsten Jahrhunderts hat eine weitaus realere Grundlage als die in den 70er Jahren sehr spekulativ diskutierten Perspektiven.

Die Bundesrepublik hat sich bereits früh in der Förderung der Fusionsforschung engagiert. Deutsche Fusionslaboratorien nehmen heute in Europa und darüber hinaus eine führende Stellung ein. Der Wissenschaftsrat ist der Auffassung, daß die Fusionsforschung weiterhin angemessen gefördert werden sollte.

Gegenwärtig wird im Bereich der Fusionsforschung weltweit eine Reihe von Forschungslinien gleichzeitig verfolgt. Im Vordergrund steht die Tokamaklinie. Daneben existiert noch die Stellaratorlinie und - wenngleich stärker in nationalen Programmen - die Forschungslinie der Fusion durch Trägheitseinschluß. Angesichts der hohen Kosten der Fusionsforschung ist es nicht möglich, alle drei Forschungslinien gleichzeitig mit gleichem Nachdruck zu verfolgen. Dementsprechend hat sich in Deutschland und Europa in den letzten Jahrzehnten ein Schwergewicht bei der

Tokamak-Forschungslinie herausgebildet. Die Forschungsförderung sollte sich auch in Zukunft auf diesen Bereich konzentrieren.

Nachdem im Bereich der Plasmaforschung mittlerweile große Fortschritte erzielt worden sind, ist es notwendig, nun verstärkt die Materialforschungsprobleme anzugehen, die sich auf dem Gebiet der Reaktortechnologie stellen. Bei der Energiegewinnung durch Fusion sind die verwendeten Werkstoffe extremen Temperatur-, Strahlungs- und elektromagnetischen Beanspruchungen unterworfen. Besonders die hochenergetische Neutronenstrahlung, aber auch Wechselwirkungen mit Wasserstoff können zur Veränderung der mechanischen Eigenschaften der Werkstoffe führen. Deshalb sollen die Untersuchungen zum Materialverhalten der Werkstoffe bei Einwirkung von Neutronen im realistischen Energiebereich fortgesetzt werden. Notwendig hierfür ist die Bereitstellung einer entsprechenden Neutronenquelle mit hoher Flußdichte im Energiebereich um 14 MeV. Der Wissenschaftsrat regt an, daß diese Frage unter Berücksichtigung von Kostengesichtspunkten und der Möglichkeit der Lastenverteilung im Rahmen internationaler Arbeitsteilung geprüft wird.

In der gegenwärtigen Phase des Übergangs von der Grundlagenforschung zur anwendungsorientierten Forschung wäre es nicht sinnvoll, eine zu starke Verengung der Forschungsansätze vorzunehmen. In angemessenem Umfang sollte daher neben der Tokamak- auch die Stellaratorlinie weiterverfolgt werden. Die Entscheidung über den Bau eines Demonstrationsreaktors oder über den Bau eines kommerziell betriebenen Fusionskraftwerks steht noch nicht unmittelbar bevor. Der Wissenschaftsrat ist jedoch der Auffassung, daß im Zuge der Verstärkung der Anwendungsbezüge der Fusionsforschung mehr als bisher auch Fragen der Sicherheit im Rahmen der Fusionsforschung Rechnung getragen werden sollte. Dabei geht es nicht nur darum, das Forschungsprogramm entsprechend zu ergänzen und zu verstärken, sondern auch darum, den Dialog der Forschung mit der Öffentlichkeit zu intensivieren, um frühzeitig zu einer möglichst breiten Diskussion der auch mit der Fusionsenergie verbundenen Risiken zu gelangen. Die Erfahrungen bei der Einführung der Fissionsenergie haben gezeigt, daß es nicht sinnvoll ist, die Einführung großtechnischer Anlagen dieser Art voranzutreiben, ohne gleichzeitig in einen intensiven gesellschaftlichen Risikodialog einzutreten.

Für die weitere Entwicklung der Fusionsforschung ist es erforderlich, daß die über Jahrzehnte gewachsene und bewährte internationale Zusammenarbeit von deutscher Seite auch künftig nachhaltig unterstützt wird. Fusionsforschung ist ein gutes Beispiel für einen Zweig der Vorsorgeforschung, bei dem einzelne nationale Forschungskapazitäten an ihre Grenzen stoßen.

Vor diesem Hintergrund ist es auch und vor allem aus Kostengründen erforderlich, daß die internationale Kooperation im Bereich der Fusionsforschung weitergeführt wird. Im Interesse eines optimalen Mitteleinsatzes sollten jedoch die Realisierungschancen der gegenwärtig verfolgten Pläne für neue internationale Großexperimente wie ITER sorgfältig gegeneinander abgewogen werden. Die parallele Realisierung mehrerer internationaler Großexperimente erscheint finanziell nicht tragbar. Die Frage eines europäischen Standorts für den Internationalen Thermonuklearen Experimentellen Reaktor sollte in diesem Zusammenhang erneut gestellt werden.

III.3. Regenerative Energien

Regenerative Energiequellen wie Sonnenstrahlung, Biomasse, Wasserkraft, Wind sowie Erd- und Umgebungswärme decken in Deutschland derzeit einen Anteil, der 1,9 % am Primärenergiebedarf entspricht. Davon entfällt der größte Teil auf die Nutzung von Biomasse (71 %), dann folgen Wasserkraft (23 %), Windenergie (5 %) und Geothermie (1 %); der Anteil der aktiven Solarenergienutzung über solarthermische Kollektoren und Photovoltaik liegt unter 1 %.⁵⁴⁾ Der Anteil aller regenerativen Energieträger an der öffentlichen Stromversorgung beläuft sich auf knapp 5 %.

Gegenüber dem heute zu niedrigen Preisen verfügbaren Angebot an herkömmlichen Energieträgern sind die regenerativen Energiequellen derzeit nur in wenigen Bereichen (z.B. netzferne Stromversorgung) konkurrenzfähig. Zur Sicherung einer bedarfsgerechten und zeitlich planbaren Energiebereitstellung muß ein Energiesystem auf der Basis der direkten Nutzung von Solarstrahlung und Windenergie mit einem nach Bedarf steuerbaren komplementären Energieversorgungssystem im

⁵⁴⁾ Dieser Wert beinhaltet nicht den Beitrag der passiven Sonnenenergienutzung, die z.B. über solar- und energieoptimierte Fenster den Endenergiebedarf für Heizung, Warmwasserbereitung und Beleuchtung von Gebäuden zum Teil erheblich reduziert.

Verbund arbeiten. In dieses komplementäre System können von regenerativer Seite neben Wasserkraft auch Biomasse und solarthermische Kraftwerke mit Speichern eingebunden werden. Der Leistungsbedarf des komplementären Energiesystems hängt merklich von der Größe des betrachteten Energieversorgungssystems ab sowie von dem Umfang, in dem sich Lastmanagementstrategien realisieren lassen. In jedem Fall entstehen durch die Kombination zweier Energieversorgungsstrukturen zusätzliche Investitionskosten.

3.1. Biomasse

Ausgangslage

Der Begriff "Biomasse" umfaßt organische Stoffe, die in der Land- und Forstwirtschaft und anderen Bereichen als Abfall- oder Nebenprodukte anfallen, und Pflanzen, die bewußt mit dem Ziel der energetischen Nutzung angebaut werden. Biomasse kann als Primärenergieträger durch thermische Verfahren direkt oder nach der Veredelung zu festen, flüssigen oder gasförmigen Sekundärenergieträgern zur Bereitstellung von Wärme, Kraft oder Strom genutzt werden. Im Jahr 1996 betrug der Anteil der Biomasse zur Deckung des Primärenergieverbrauchs in Deutschland rund 1,5 % (210 PJ). Der größte Teil davon entfiel auf organische Abfall- und Nebenprodukte; die aus Energiepflanzen bereitgestellte Energiemenge war marginal.

Für den direkten Einsatz von Biomasse als Festbrennstoff, dem in Deutschland derzeit vorherrschenden Weg zur Nutzung organischer Energieträger, kommen sowohl feste organische Abfälle und Nebenprodukte wie Rest- und Altholz, Stroh oder getrocknete Klärschlämme als auch Energiepflanzen, z.B. schnellwachsende Hölzer (Kurzumtriebsplantagen), Energiegetreide wie Winterweizen und Triticale in Frage. Nach einer einfachen mechanischen Aufbereitung wird die in der Biomasse gebundene chemische Energie in Verbrennungsanlagen in Wärme umgesetzt. In Kleinanlagen, industriellen oder kommunalen Heizwerken wird dadurch Nieder-, Mittel- und auch Hochtemperaturwärme erzeugt, die entweder direkt vor Ort genutzt oder über Nah- oder Fernwärmenetze verteilt wird. In größeren Bioenergieanlagen können feste Biomassen neben der Wärmegewinnung auch zur Stromerzeugung (z.B. Kraft-Wärme-Kopplung) genutzt werden; ein Beitrag zur Stromerzeugung ist auch auf dem Wege der Mitverbrennung in Kohlekraftwerken möglich.

Bei der Herstellung von Sekundärenergieträgern aus Biomasse geht der Umwandlung in Nutzenergie eine Veredelung mittels thermochemischer, physikalisch-chemischer oder biochemischer Verfahren voraus. Damit wird eine Aufwertung z. B. hinsichtlich Energiedichte, Speicher- und Transportfähigkeit oder Umweltverträglichkeit angestrebt.

Bei thermochemischen Verfahren werden organische Abfälle und Nebenprodukte oder Energiepflanzen unter dem Einfluß von Wärme bei Sauerstoffabschluß zu Brennstoffen verkohlt, vergast oder verflüssigt, um anschließend zur Wärme- oder Stromerzeugung oder als Treibstoff in Motoren eingesetzt werden zu können. Verkohlungsverfahren finden kommerzielle Anwendung in der Herstellung von Aktiv- oder Grillkohle; die Technologien zur Vergasung und Verflüssigung von Biomassen befinden sich im Forschungs- und Teststadium.

Mit physikalisch-chemischen Verfahren werden Öle aus Pflanzen, in Deutschland insbesondere aus Raps, gepreßt, extrahiert oder in einer Kombination beider Methoden gewonnen. Das Öl ist entweder direkt als Brennstoff oder nach einer Umesterung als Biodiesel zum Betrieb von Fahrzeugmotoren einsetzbar. Die zur Erzeugung von Pflanzenöl und qualitativ hochwertigem, in Pkw-Motoren einsetzbarem Biodiesel notwendigen Technologien sind ausgereift. Die heutigen Marktpreise und die insgesamt verfügbaren Anbauflächen für geeignete ölhaltige Pflanzen sowie die anfallenden Kosten bei der Veredelung begrenzen die breite Anwendung.

Zu den biochemischen Verfahren der Biomasseveredelung zählen die Biogaserzeugung durch Vergärung, die Kompostierung und die Alkoholerzeugung. Zur Herstellung von Biogas werden organische Abfälle, z. B. Klärschlämme, Festmist oder Gülle, nach der mechanischen Vorbehandlung gegebenenfalls mit Wasser versetzt und unter Sauerstoffabschluß vergoren. Das entstandene Gas kann zur Strom- oder Wärmeerzeugung genutzt werden. Bei der Kompostierung werden organische Abfälle unter Einsatz elektrischer Energie zerkleinert und in sogenannten Rottebunkern bei kontrollierter Temperatur, Luftfeuchte und Sauerstoffkonzentration oxidiert, wobei Wärme bei niedrigerer Temperatur freigesetzt wird. Bei der Biogaserzeugung wie der Kompostierung steht die Behandlung der Abfallstoffe, nicht die Erzeugung von Sekundärenergieträgern, im Vordergrund; bei der Kompostierung ist die Energiebilanz negativ.

Während die Technik zur Gaserzeugung aus Klärschlämmen, zur Nutzung natürlich entstandener Deponiegase und zur Kompostierung von Abfällen - in Deutschland wird in rund 500 Kompostieranlagen eine Gesamtkapazität zur Verarbeitung von 4 Mio. t Bioabfällen jährlich vorgehalten - bereits ausgereift ist, befinden sich die Ver-

fahren zur Vergasung landwirtschaftlicher Rest- und Abfallstoffe noch in der Entwicklungs- und Erprobungsphase. Zum Einsatz als Treib- und Brennstoff in Motoren oder Verbrennungsanlagen eignet sich aus Energiepflanzen durch Vergärung hergestellter Bioalkohol. Die Technik zur Überführung der zucker-, stärke- oder zellulosehaltigen Biomasse in Ethanol entspricht weitgehend den zur Produktion von Trinkalkohol angewandten Verfahren und ist damit überwiegend großtechnisch verfügbar.

Stellungnahme

Schätzungen gehen von einem technisch nutzbaren Energiepotential bei den biogenen Rest- und Nebenprodukten von 570 PJ pro Jahr und bei den Energiepflanzen bei einer angenommenen Anbaufläche von 4 Mio. ha von rund 840 PJ pro Jahr aus. Zusammen entspricht dies etwa 10 % des derzeitigen Primärenergieverbrauchs. Die vorhandenen technischen Potentiale werden für die einzelnen Biomassen in Deutschland derzeit in unterschiedlichem Maße ausgeschöpft: anfallendes industrielles Restholz und Klärgas werden bereits zu mehr als der Hälfte energetisch genutzt, eine teilweise Nutzung erfolgt bei Altholz, organischem Müll und Deponiegas. Kaum genutzt werden die technischen Potentiale von Stroh und Waldrestholz sowie von Energiepflanzen.

Ausschlaggebend für den Grad der Nutzung sind neben der Verfügbarkeit entsprechender Verfahren die Kosten für die Umwandlung in Nutzenergie. Letztere wiederum hängen auch von der Verknüpfung mit anderen, nicht energetischen Nutzungen ab. So konkurriert der Anbau von Energiepflanzen mit der Nahrungs- und Futtermittelproduktion um landwirtschaftliche Flächen. Die Bereitstellung von Energie aus organischen Abfällen kann als Bestandteil von Entsorgungsstrategien betrachtet werden. Systemanalytische Aspekte sind daher bei der Bewertung technischer Optionen von großer Bedeutung.

Die verschiedenen Verfahren zur energetischen Nutzung von Biomasse sind unterschiedlich weit entwickelt. Technologien zur Verbrennung fester Biomassen bedürfen der Optimierung vornehmlich mit den Zielen einer Minderung der auftretenden Emissionen sowie der Kostensenkung. Bei kleinen Verbrennungsanlagen ist

darüber hinaus der Bedienungs- und Handhabungsaufwand zu verbessern. Notwendig ist eine enge Verknüpfung von Verbrennungsforschung und Anlagentechnik mit Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Produktion und Bereitstellung von Biomassen, um die vorhandenen Entwicklungspotentiale auszuschöpfen.

Bedarf an Forschungsarbeiten im Grundlagenbereich besteht auf dem Gebiet der thermochemischen Vergasung verschiedener Biomassen hinsichtlich der Reduktion von Teerbildung sowie zur Verbesserung der Umwandlung des gewonnenen Gases in Kraft oder Strom in Motoren und Turbinen. Anwendungsorientierte Forschung ist notwendig zur Optimierung der Gasreinigung sowie des Gesamtprozesses von der Produktion über die Reinigung bis zum Einsatz des Gases unter systemaren Gesichtspunkten.

Im Bereich biochemischer Vergasung (Biogas) besteht Entwicklungsbedarf zur Verbesserung der Verfahren und Techniken insbesondere zur Behandlung landwirtschaftlicher Abfälle wie Gülle und Festmist. Die energetische Nutzung organischer Abfälle und Rückstände aus der Landwirtschaft könnte durch die Entwicklung einer standardisierten Biogaserzeugungsanlage erhöht werden. Notwendig ist die Entwicklung von Konzepten zur Integration der Gaserzeugung und -nutzung sowohl in die kommunale als auch in die landwirtschaftliche Abfallbehandlung. Dies gilt auch für die Nutzung der bei der Kompostierung organischer Abfälle anfallenden Wärme; weiterer Entwicklungsbedarf besteht bei diesem Verfahren hinsichtlich einer Senkung der Geruchs- und anderer Emissionen.

Die Verflüssigung fester Biomassen unter Einsatz thermochemischer Verfahren bedarf, im Gegensatz zur Herstellung flüssiger Sekundärenergieträger mit physikalisch- und biochemischen Methoden, vor einer Markteinführung noch erheblicher Forschungsanstrengungen im Grundlagenbereich. Im Vordergrund stehen dabei Fragen der Pyrolyse und der Prozeßsteuerung für unterschiedliche Biomassen.

3.2. Wasserkraft

Ausgangslage

Bei der energetischen Nutzung von Wasserkraft wird die potentielle und kinetische Energie des Wassers nutzbar gemacht. In einem Wasserkraftwerk verwendet man die zwischen Ober- und Unterwasser in einem Gewässer durch ein Staubaufwerk geschaffene Energiedifferenz zur Stromerzeugung. Man unterscheidet nach der Betriebsweise zwischen Lauf- und Speicherkraftwerken. Bei Laufkraftwerken wird das zufließende Wasser durch ein Wehr aufgestaut und "laufend" verarbeitet, es ist keine nennenswerte Speichermöglichkeit vorhanden. Bei Speicherkraftwerken wird das ankommende Wasser in einem Stausee gespeichert und kann diesem bei Bedarf entnommen werden, z.B. zur Deckung von Spitzenlast.

Das theoretische Potential der Wasserkraft in Deutschland liegt ausgehend von den mittleren Niederschlagsmengen und dem davon abfließenden Anteil mit den jeweils zu überwindenden Höhen bei rund 380 PJ/a. Werden die technischen Einschränkungen, unter anderem Fallhöhenschwankungen infolge von Wasserstandsänderungen, berücksichtigt, ergibt sich für Deutschland ein technisches Stromerzeugungspotential von ca. 25 TWh/a; bezogen auf die Bruttostromerzeugung in Deutschland im Jahr 1997 von etwa 590 TWh (2.120 PJ) entspricht dies rund 4,2 %. Aufgrund der topographischen Gegebenheiten und der vergleichsweise hohen Niederschlagsmengen ist dieses Potential zum überwiegenden Teil in Süddeutschland gegeben; so sind etwa 80 % in Bayern und Baden-Württemberg konzentriert. Der Anteil der erneuerbaren Wasserkraft, d.h. der Lauf- und Speicherwasserkraft ohne Erzeugung aus gepumptem Wasser in Pumpspeicherkraftwerken, an der gesamten Bruttostromerzeugung in Deutschland lag im Jahr 1995 bei etwa 3,5 %. Die Ausnutzung des technischen Stromerzeugungspotentials ist mit 75 bis 80 % bereits vergleichsweise hoch; deshalb ist in Zukunft nicht zu erwarten, daß die Stromerzeugung aus Wasserkraft deutlich zunehmen wird.

Die Technik zur Nutzung der Wasserkraft ist weitgehend ausgereift und seit vielen Jahrzehnten verfügbar. Sie ist weltweit im Einsatz und hat es ermöglicht, daß die Wasserkraft global gesehen einen wichtigen Beitrag zur Deckung der Stromnachfrage leistet. Die Nennwirkungsgrade bezogen auf das durch die Anlage fließende Wasser bei Vollast betragen bis zu mehr als 90 %. Die entsprechenden Nutzungsgrade im Jahresmittel liegen bei größeren Anlagen bei 70 bis 85 % und bei kleineren Anlagen bei 50 bis 70 %. Aufgrund des hohen technischen Standes ist zukünftig nur noch von geringen Wirkungsgradsteigerungen auszugehen. Der

Trend geht zu Anlagen mit variablen Drehzahlen, um am gleichen Standort einen höheren Stromertrag zu erzielen.

Die Gesamtinvestitionen für die Errichtung einer neuen Anlage liegen bei Leistungen unter einem Megawatt bei rund 10.000 bis 16.000 DM/kW. Sie sinken mit zunehmender installierter Leistung und variieren bei Leistungen von rund 10 MW zwischen 8.000 und 9.000 DM/kW. Die Stromgestehungskosten für neu zu errichtende Wasserkraftwerke liegen bei Kleinstwasserkraftanlagen (50 kW) zwischen 17 und 31 Pfg/kWh, bei Kleinwasserkraftanlagen (500 kW) zwischen 11 und 15 Pfg/kWh und bei einer Großanlage (5 MW) zwischen 6 und 9 Pfg/kWh.

Der Energieaufwand für die Stromerzeugung aus Wasserkraft resultiert im wesentlichen aus der Anlagenherstellung. Der Betrieb ist mit geringem Eigenenergiebedarf verbunden. Relevante Schadstoffemissionen treten bei der wassertechnischen Stromerzeugung im wesentlichen nur bei der Herstellung und der Anlageninstallation auf. Der Ausbau und das Aufstauen von Flußläufen zur Wasserkraftnutzung können jedoch lokal auch zu hohen Umweltbelastungen führen. Hierzu zählen beispielsweise Veränderungen des Grundwasserspiegels und der Eintiefung von Flußbetten durch Rückhalt von Schwemm- und Geschiebematerial insbesondere im Bereich von Meeresmündungen sowie die Erhöhung der Verdunstung und Bildung von Methan durch anaerobe Zersetzung von überstauter Biomasse bei relativ flachen Stauseen.

Stellungnahme

Die Nutzung von Wasserkraft leistet global einen wichtigen Beitrag zur Deckung der Stromnachfrage. Das technische Potential der Wasserkraftnutzung in Deutschland ist jedoch bereits weitgehend ausgeschöpft. Die absoluten Zuwachsraten für die Ausnutzung des Stromerzeugungspotentials sind gering.

Wasserkraftanlagen haben einen sehr hohen Stand der Energiewandlung erreicht. Die Nennwirkungsgrade großer Anlagen erreichen Werte über 90 %. Dennoch gibt es noch wichtige Forschungsgebiete, deren Zielrichtung eine weitere technische und wirtschaftliche Optimierung des Baus und des Betriebs von Anlagen ist. Im einzelnen sind hier zu nennen:

- Zielgerichtetes Optimieren der Maschinenauslegung auf den jeweiligen Anwendungsfall. Jede Anlage muß auf die spezifischen Bedingungen des jeweiligen Standortes zugeschnitten werden. Die dazu notwendigen Entwicklungsarbeiten sind sehr aufwendig und müssen kostengünstiger gestaltet werden.
- Verbesserung der hydraulischen Qualität der Wasserkraftmaschinen. Eine wichtige Forderung in diesem Zusammenhang ist, bessere Nutzungsgrade im Teillastbereich zu erreichen.
- Entwickeln von Methoden zum dreidimensionalen Berechnen und Simulieren von Strömungen, um die Wirkungen konstruktiver Änderungen auf Kavitationen und auf Erosion quantifizieren zu können. Diese Forschungen haben interdisziplinären Charakter, weil sie die Materialtechnologie einschließen.
- Entwicklung von Methoden zur dreidimensionalen Berechnung und Simulation, um längere Laufzeiten und sparsameren Materialeinsatz zu erreichen. Insbesondere bei großen Axialmaschinen wird heute weiches Material verwendet. Dabei gibt es Festigkeitsprobleme infolge des Flatterns der Flügel.

Darüber hinaus besteht Entwicklungsbedarf bei großen drehzahlgeregelten Maschinen, beim Bau kostengünstiger Anlagen zur Nutzung der Kleinwasserkraft (auch im Hinblick auf bedeutsame Exportmärkte) sowie bei der Verbesserung der Schlauchwehre.

Weitere FuE-Schwerpunkte sind auf die Erarbeitung von Kompromissen zwischen energiewirtschaftlichen und Umweltschutzanforderungen gerichtet, insbesondere landschaftspflegerische und ökologische Ausgleichsmaßnahmen sowie Maßnahmen zur ökologisch verträglichen Einbindung von Laufwasserkraftanlagen in die Landschaft.

Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Wasserkraftnutzung und des Anlagenbaus sind in Deutschland von hoher, international anerkannter Qualität. Die auf diesem Gebiet tätigen Institute können überwiegend auf eine sehr gute Ausstattung zurückgreifen. Der Anlagenbau besitzt eine wichtige Bedeutung für den Export.

3.3. Windenergie

Ausgangslage

Die technische Nutzung der Windenergie basiert auf der aeromechanischen Wandlung der Energie des Windes in die mechanische Rotationsenergie eines Triebstranges. In der Regel folgt dieser Wandlung die Transformation in elektrische Energie mittels eines Generators. Die Energieflußdichte eines Windfeldes hängt von der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit ab. 59 % des Windenergieflusses können theoretisch durch die Konverterfläche in technisch nutzbare Energie umgewandelt werden. Windenergiekonverter erreichen heute mechanische Umwandlungswirkungsgrade bis zu 50 %. Die Wirtschaftlichkeit von Windkraftanlagen hängt vom Windangebot an den verschiedenen Standorten ab, schon relativ geringe Schwankungen beeinflussen den erzielbaren Leistungsgewinn.

Das technische Stromerzeugungspotential der Windenergie in Deutschland, das sich aus den Windverhältnissen in den bodennahen Atmosphärenschichten errechnet, liegt zwischen 80 und 100 TWh/a an Standorten mit Windgeschwindigkeiten zwischen 4 und 5 m pro Sekunde (4,75 Mio. ha), zwischen 19 und 23 TWh/a an Standorten mit Windgeschwindigkeiten zwischen 5 und 6 m pro Sekunde (0,72 Mio. ha) und 4 bis 6 TWh/a an Standorten mit Windgeschwindigkeiten über 6 m pro Sekunde (0,09 Mio. ha). Darüber hinaus wäre eine Windkraftnutzung vor den Küsten außerhalb des Nationalparks Wattenmeer technisch möglich. Die größten Erzeugungspotentiale in Deutschland liegen in den Küstenländern Niedersachsen, Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern mit knapp 90 % des Gesamtpotentials; im Binnenland sind die Möglichkeiten der windtechnischen Stromerzeugung gering und beschränken sich im wesentlichen auf die Höhenlagen der Mittelgebirge. Die gesamte Windkraftanlagenleistung in Deutschland betrug 1997 ca. 2.000 MW bei etwa 5.200 Anlagen. Damit nahm Deutschland innerhalb der Europäischen Union (3.400 MW) den ersten Rang ein, gefolgt von Dänemark mit 835 MW (ca. 800 installierte Anlagen). Der Energieertrag in Deutschland, wo die Windenergie fast ausschließlich zur Stromerzeugung verwendet wird, lag 1997 bei etwa 2,28 TWh, das sind ca. 0,4 % der Bruttostromerzeugung. In den fünf Bundes-

ländern an der Küste wurden knapp 5 % der hier verbrauchten elektrischen Energie aus Windkraftanlagen gewonnen.

Die Windkraftanlagentechnik wurde in den letzten Jahren erheblich verbessert. Heute sind Konverter mit bis zu 1.500 kW installierter Leistung Stand der Technik, sie haben Serienreife erreicht. Hersteller sind überwiegend kleine und mittlere Unternehmen. Moderne Windkraftanlagen werden überwiegend zur Stromerzeugung bei Einspeisung mit regionalen oder überregionalen Elektrizitätsnetzen eingesetzt. Dabei ist es in der Regel notwendig, das Generatorsystem an das Netz anzupassen. Dies kann im einfachsten Fall über einen Transformator erfolgen. Zusätzliche Gleichstromzwischenkreise gewinnen immer mehr an Bedeutung, da sie einen drehzahlvariablen Betrieb des Windkonverters gestatten. Im kleinen Leistungsbereich (bis etwa 30 kW) werden Windenergiekonverter auch zur autonomen Versorgung einzelner Verbraucher - häufig in Verbindung mit Diesel- oder Photovoltaik-Generatoren - eingesetzt.

Die Wirkungsgrade der Stromerzeugung liegen bei 35 bis 45 %. Entscheidend für den Anstieg der Windenergienutzung in Deutschland war das Stromeinspeisungsgesetz, nach dem seit 1991 jede in das öffentliche Stromnetz eingespeiste Kilowattstunde Strom von den Energieversorgungsunternehmen mit 90 % der durchschnittlichen Stromkosten aller Endverbraucher vergütet wird; damit waren die Voraussetzungen für einen rentablen Betrieb von Windkraftanlagen zunächst an windreichen, küstennahen Standorten gegeben. Hinzu kamen Förderprogramme des Bundes und der Länder, darunter vor allem das 250 MW Wind-Programm. Das Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie förderte den Einsatz der Windenergie in Deutschland in den Jahren 1995 bis 1998 insgesamt mit etwa 160 Mio. DM, davon wurden 140 Mio. DM im Rahmen des 250 MW Wind-Programms zur Verfügung gestellt.

Die Kosten für den Bau von Windkraftanlagen (ohne Genehmigungskosten) liegen bei einer Anlage mit einer Leistung von 500 bis 1.500 kW bei etwa 1.700 bis 2.000 DM/kW. Die Stromgestehungskosten belaufen sich, volkswirtschaftlich betrachtet, auf 15 bis 25 Pfg/kWh.

Stellungnahme

Der Beitrag der Windenergienutzung zur Stromversorgung ist in Deutschland derzeit von geringer Bedeutung, aber durch hohe Zuwachsraten gekennzeichnet. Der Betrieb von Windkraftanlagen verursacht keine stofflichen Emissionen, nur bei der Herstellung werden Schadstoffe in einer relevanten Größenordnung emittiert. Die praktischen Erfahrungen beim Ausbau der Windenergie zeigen jedoch, daß auch hier Akzeptanzschwierigkeiten bestehen, da die heutigen kommerziellen Anlagen und Windparks aufgrund ihrer Größe und Schallemissionen oftmals als umweltbelastend angesehen werden. Zur Erhöhung der Akzeptanz von Windparks sind daher Maßnahmen zur Reduktion der Geräuschemissionen und zur besseren Integration der Anlagen in die Landschaft erforderlich.

Bei der Produktion und Installation von Windkraftanlagen nehmen deutsche Hersteller eine Spitzenstellung ein. Die Windenergietechnologie ist ein zunehmend wichtiges Exportprodukt, dessen Marktchancen sich durch die Erhöhung der Wirtschaftlichkeit der Anlagen und die Senkung der Stromgestehungskosten noch verbessern lassen.

Zukünftige Forschungsarbeiten haben zum Ziel, technische Lösungen zur Erhöhung des Stromertrags und zur Senkung der Stromerzeugungskosten zu entwickeln. Im Mittelpunkt stehen insbesondere die Erhöhung der Lebensdauer der Anlagen, die Verbesserung der Zuverlässigkeit, die Senkung der Anlagenkosten sowie die optimale Einbindung in das Stromnetz und den existierenden thermisch-hydraulischen Kraftwerkspark.

Weitere notwendige Arbeitsschwerpunkte sind:

- Betriebsführungsstrategien von Windparks und Einbindung in das Verbundnetz, Anpassung an schwache Netze im Hinblick auf zukünftige Exportmärkte;
- Verbesserung und Verifikation von Vorhersagemodellen für die in Verbundnetze eingespeiste elektrische Leistung;
- Entwicklung verbesserter Rotorblattqualitäten;
- Entwicklung von Anlagen mit größerer Nennleistung, insbesondere für die Off-shore-Aufstellung;
- Einsatz recycelbarer Rotorwerkstoffe.

Langfristige Aufgaben liegen in der Erschließung neuer Standorte vor der Küste (Off-shore), der Anpassung von Windkraftanlagen an unterschiedliche Netz- und Verbraucherbedingungen in anderen Klimazonen sowie der Erschließung neuer Anwendungsfelder wie der Trinkwassererzeugung und der Meerwasserentsalzung.

Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Windenergienutzung werden zu einem großen Teil von seiten einiger Länder gefördert. Etwa 20 Universitäten und mehrere außeruniversitäre Forschungseinrichtungen betreiben Forschungsarbeiten zur Nutzung der Windenergie. Keine Universität hat jedoch einen ausgeprägten Schwerpunkt auf diesem Gebiet, der es erlauben würde, die genannten Forschungsfragen über Einzelaspekte hinaus zu studieren. Eine stärkere Konzentration der Forschungsarbeiten an einem Ort wäre wünschenswert. Für eine Universität in einem der Küstenländer läge hier in Zusammenarbeit mit der außeruniversitären Forschung und der meist mittelständisch geprägten Industrie eine Entwicklungschance.

3.4. Geothermie

Ausgangslage

Als Geothermie bezeichnet man die Teildisziplin der Geophysik, die sich mit dem thermischen Zustand und der Temperaturverteilung im Erdinnern sowie mit den thermischen Eigenschaften der Gesteine beschäftigt. Der an der Erdoberfläche meßbare Wärmestrom basiert überwiegend auf dem Zerfall radioaktiver Isotope innerhalb der oberen Erdkruste (insbesondere Uran-238, Uran-235, Thorium-232, Kalium-40). Die Temperatur nimmt in Richtung Erdinneres auf den Kontinenten durchschnittlich um 3 Kelvin pro 100 m zu. Zur Nutzung der Erdwärme sind Gebiete mit geothermischen Anomalien besonders geeignet, wie sie z.B. in Island, der Toskana, Japan, Kalifornien, Neuseeland, Mittelamerika und im Oberrheingraben zu finden sind.

Auf der italienischen Insel Lipari wurde etwa 1.500 v. Chr. das erste bekannte Thermalbad installiert. In Island wird seit 1755 Thermalwasser zu Heizzwecken genutzt.

Die erste Anwendung der Erdwärme zur Stromerzeugung wurde 1827 von Francesco Larderel in der Toskana praktiziert.

Bei der Nutzung geothermischer Energien unterscheidet man zwischen Elektrizitätserzeugung und direkter thermischer Nutzung. Neben der Wohnraumheizung wird die Erdwärme zur Trocknung, Kühlung, Verdampfung, im landwirtschaftlichen Bereich (Tier- und Pflanzenzucht) und für therapeutische Anwendungen mineralisierter Thermalwässer direkt genutzt.

Geothermische Energie für die Stromerzeugung

Zur wirtschaftlichen Stromerzeugung mit Kraftmaschinen werden Fluide mit Temperaturen oberhalb 170 °C und Produktionsraten von mindestens 100 l/s eingesetzt. Geothermische Kraftanlagen bilden im Bereich der großen vulkanischen Bruchzonen der Erde vielfach eine wichtige Energiequelle. Weltweit sind derzeit in rund 25 Staaten knapp 250 Erdwärmekraftwerke mit einer installierten elektrischen Leistung von etwa 8.000 MW in Betrieb. Führend bei der Stromerzeugung durch Geothermie sind die USA mit rund 3.000 MW, gefolgt von den Philippinen, Mexiko, Italien, Japan und Indonesien. Die globalen Wachstumsraten liegen zur Zeit bei 12 % pro Jahr. Bekannte Beispiele für Erdwärmekraftwerke stammen aus Island und Neuseeland.

Geothermische Energie für direkte Wärmeanwendung

Außerhalb der geothermischen Anomalien liefern tief liegende Grundwasserleiter ein bedeutendes Potential für die Gewinnung von heißem Grundwasser u.a. für Raumheizung. Weltweit beträgt die in geothermischen Heizanlagen in rund 70 Ländern installierte Leistung etwa 20.000 MW_{th}. In Frankreich werden z.B. 150.000 Wohnungen im Pariser Becken mit heißem Grundwasser aus 1.700 m Tiefe beheizt und mit Warmwasser versorgt.

Bedeutende Thermalwasserlagerstätten Deutschlands befinden sich in der Norddeutschen Tiefebene, im süddeutschen Molassebecken, im Oberrheingraben, im Bereich der Schwäbischen Alb, in Oberfranken, Oberschwaben und Thüringen. Bei Temperaturen des aus 1,5 bis 3 km Tiefe geförderten Grundwassers von 70 bis 90

EC sind auch im Nordosten und im Süden Deutschlands geothermische Heizanlagen im Einsatz. Insbesondere in den neuen Bundesländern werden größere Heizwerke (u.a. in Neustadt-Glewe, Neubrandenburg, Waren/Müritz) mit einer Gesamtleistung von rund $26 \text{ MW}_{\text{th}}$ betrieben.

Dezentrale Wärmeengewinnung durch erdgekoppelte Wärmepumpen

In der oberflächennahen Geothermie (Niedrigtemperaturbereich) dienen Wärmetauscher im Boden in Verbindung mit Wärmepumpen der Erzeugung von Wärme für die Raumheizung. In der USA sind mehr als 100.000 solcher Anlagen im Einsatz. In Deutschland gibt es rund 5.000 - 9.000 erdgekoppelte Wärmetauscher u.a. als Erdwärmesonden und horizontale Kollektoren. Diese Anlagen verfügen meist über eine Heizleistung von etwa 12 - 25 kW.

Hot-Dry-Rock-Systeme (HDR)

Nach dem 1970 im Los Alamos Scientific Laboratory entwickelten HDR-Konzept werden zwei (oder mehrere) Bohrungen nach hydraulischen Stimulationsmaßnahmen der Wasserwegsamkeiten verbunden. Das Verfahren nutzt oder weitet tiefliegende Klüfte zu einem Wärmetauscher definierter Größe. Unter Druck zirkuliert in dem künstlich geschaffenen Rißsystem eingepreßtes sich erheizendes kaltes Wasser, das schließlich als Heißdampf/Heißwasser wiedergewonnen wird. HDR-Systeme mit heißen Gesteinen im tiefen Untergrund könnten zur Strom- und Wärmeengewinnung genutzt werden. Grundlagenversuche zur HDR-Forschung werden in den USA, in Japan, Frankreich, Deutschland, England, Schweden und der Schweiz durchgeführt. Die derzeit existierenden wissenschaftlichen HDR-Anlagen befinden sich in Hijiori und Ogashi (Japan) sowie Soultz-sous-Forêts (Frankreich). Während eines im Jahr 1997 durchgeführten viermonatigen Langzeitzirkulations-experiments im europäischen HDR-Projekt Soultz betrug die Leistung dieser wissenschaftlichen Versuchsanlage konstant $10 \text{ MW}_{\text{th}}$ bei einer Temperatur von ca. 160 EC.

Stellungnahme

In Regionen mit anormal aufgeheiztem Untergrund bedingt durch vulkanische Aktivitäten wird seit vielen Jahrzehnten geothermische Energie für Heizzwecke und zur Erzeugung elektrischen Stroms genutzt. Von einer weiteren globalen Zunahme der Nutzung der Erdwärme für die Energieversorgung ist auszugehen.

Deutschland verfügt über ein beachtenswertes Potential nutzbarer geothermaler Energie. Die direkte Nutzung von porösen Warmwasserspeichern für Heiz- und Prozeßzwecke könnte künftig unter der Voraussetzung eine Rolle spielen, daß hinreichende Abnehmerpotentiale in unmittelbarer Nähe vorhanden sind oder eine entsprechende Wärmeverteilung (d.h. Nah- bzw. Fernwärmenetz) vorliegt. Bei den weiter verbreiteten Kluftwasserspeichern müssen aufgrund von Bohrungen mit geringer Warmwasserproduktion kostengünstige und effiziente Stimulationsverfahren zur Anbindung der Produktionsbohrungen an das warmwasserführende Kluftsystem entwickelt werden. Die Nutzung der oberflächennahen Erdwärme besitzt in Deutschland bisher eine geringe energiewirtschaftliche Bedeutung, die aber mittel- bis langfristig zunehmen könnte. In der Schweiz sind Wärmepumpenanlagen bereits sehr verbreitet.

Das HDR-Konzept zur Nutzung der Erdwärme aus dem heißen, tiefen Untergrund befindet sich zur Zeit noch im Stadium der Grundlagenforschung, besitzt aber eine Bedeutung im Sinne einer langfristigen Vorsorgeaufgabe. Anschließend an die innerhalb des wissenschaftlichen Forschungsprojektes in Soultz erzielten Ergebnisse ist es nötig, Lebensdauer, Wirtschaftlichkeit und Langzeitverträglichkeit von HDR-Anlagen aufzuzeigen. Forschungsbedarf besteht u.a. bei der Verbesserung des Wärmetauschers im Untergrund. Langfristig könnte die Erdwärmenutzung aus HDR-Systemen eine Bedeutung in der Energieversorgung erlangen.

Geothermie-Forschung wird in Deutschland an einer überschaubaren Anzahl von Einrichtungen erfolgreich betrieben (u.a. Universitäten Bochum und Karlsruhe, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Hannover, GeoForschungs-Zentrum Potsdam). Bei der Umfrage des Wissenschaftsrates (vgl. Tabelle 1 im Anhang) haben zehn Einrichtungen angegeben, daß sie auf dem Gebiet der Geothermie arbeiten.

Insgesamt kann festgestellt werden, daß die Technik zur Nutzung geothermischer Energie verfügbar und weitgehend ausgereift ist. Für eine Markteinführung sind keine grundlegenden Forschungsarbeiten mehr erforderlich. Beeinträchtigend wirken sich aber die Risiken der hohen Anfangsinvestitionen und das damit verbundene große Explorations- und Bohrrisiko aus. Die Weiterführung und Verbesserung der Kartierung und Bewertung der hydrothermalen Ressourcen ist zur Erkundung

potentieller Standorte erforderlich. Für eine qualifizierte Bewertung ist ferner die Untersuchung struktureller und textueller Ausbildung von Poren- und Kluftspeichern auf die hydraulischen und thermodynamischen Parameter notwendig. In Deutschland kann die geothermische Energie auch unter den derzeit herrschenden wirtschaftlichen Rahmenbedingungen einen Beitrag zum Energiemix leisten, wenn günstige geologische Bedingungen mit geeigneten infrastrukturell-wärmetechnischen Voraussetzungen zusammentreffen.

3.5. Solarenergie

(1) Photovoltaik

Ausgangslage

Photovoltaische Energiekonversion ist die direkte Umwandlung von solarer Strahlungsenergie in elektrische Energie. Derzeit werden in der Photovoltaik fast ausschließlich Halbleiterelemente eingesetzt. Mit monokristallinem Silicium als Halbleitermaterial erreicht man für das Sonnenspektrum im Labor Wirkungsgrade von 24 %, in der industriellen Massenproduktion werden Zellenwirkungsgrade bis zu 16 % realisiert.

Für die Anwendung müssen photovoltaische Zellen in Modulen verkapselt werden. Dabei werden in der Regel mehrere Zellen in Serie geschaltet, um zu höheren Ausgangsspannungen als denen der Einzelzelle (etwa 0,5 Volt für Silicium) zu gelangen. Die Modulverkapselungstechnik bestimmt im wesentlichen die Lebensdauer von kristallinen Halbleitersolarzellen. Industrieunternehmen garantieren für Module auf der Basis von kristallinem Silicium eine Lebensdauer von 20 bis 25 Jahren.

Im Anwendungsbereich werden derzeit in erster Linie Solarzellen auf der Basis von kristallinen Siliciumwafern eingesetzt. Der Anteil der kristallinen Siliciumsolarzellen an der weltweiten Modulproduktion beträgt über 80 %. Davon sind etwa zwei Drittel aus monokristallinem und ein Drittel aus multikristallinem Blockgußsilicium gefertigt. Die restlichen 20 % der Module (in der Regel für Kleinstanwendungen) bestehen

aus amorphem Silicium; andere Zellentypen haben bisher nur einen geringen Anteil an der Produktion.

Photovoltaikmodule auf der Basis von kristallinen Siliciumsolarzellen zeichnen sich durch eine ausgereifte Technik, eine hohe Lebensdauer und gute Wirkungsgrade aus. Sie werden derzeit zum größten Teil aus gesägten Wafern mit Dicken von 0,2 bis 0,3 mm hergestellt. Dieser hohe Materialeinsatz ist zum einen notwendig, um das Sonnenlicht in Silicium hinreichend zu absorbieren, zum anderen gewährleisten diese Waferstärken bei heutiger Produktionstechnologie die mechanische Stabilität der Zellen. Die Entsorgung von Silicium-Solarzellenmodulen ist unter dem Aspekt der Umweltverträglichkeit nahezu unproblematisch; dies gilt jedoch nicht für alle Halbleitermaterialien.

Wichtige Beiträge für die Weiterentwicklung der Photovoltaik stellen Solarzellenmaterialien oder Solarzellenstrukturen mit besserer optischer Absorption sowie eine Fertigungstechnik auf der Basis von preiswerten Fremdsubstraten dar. Derartige Dünnschichttechnologien haben aller Voraussicht nach ein höheres Kostenreduktionspotential als die kristalline Silicium-Wafer-Technologie.⁵⁵⁾ Die Gründe liegen in dem niedrigeren Materialbedarf für die Zellen und in der Anwendung großflächiger Prozesse für die Abscheidung von Schichten sowie einer integrierten Modulverschaltung.

Produktionstechnisch am weitesten fortgeschritten unter den Dünnschichtzellen sind Solarzellen aus amorphem Silicium. Auf der Basis einer über viele Jahre entwickelten Technologie zeichnen sie sich durch niedrige erreichbare Modulkosten, einen hohen Stand der Fertigungstechnik sowie eine minimale Lebensdauer von 10 Jahren aus. Ein Nachteil liegt in ihren relativ niedrigen Modulwirkungsgraden von 5 bis 8 % (stabilisierter Wirkungsgrad).

Im Stadium der Pilotproduktion befinden sich Technologien auf der Basis der Halbleitermaterialien Cadmiumtellurid und Kupferindiumdiselenid. Wirkungsgrade von 9 bzw. 14 % werden für serienverschaltete Kleinmodule (ca. 100 cm²) erreicht. Für

⁵⁵⁾ T.M. Bruton u.a.: A Study of the Manufacture at 500 MWp p.a. of Crystalline Silicon Photovoltaic Modules, in: Proceedings of the Fourteenth European Photovoltaic Solar Energy Conference 1996, Vol. I, S. 11.

diese Dünnschichtsolarzellenmodule werden 1998 in Deutschland Produktionsstätten mit Kapazitäten von einigen Megawatt pro Jahr errichtet. Noch im Laborstadium befindet sich die kristalline Dünnschichtsiliciumsolarzelle auf Fremdsubstrat. Alle Dünnschichttechnologien gestatten es, mechanisch flexible Photovoltaikmodule herzustellen.

Photovoltaische Energiekonversion läßt sich auch in Farbstoff-Halbleiterstrukturen, reinen Farbstoffstrukturen und Farbstoff-Polymer-Systemen erreichen. Relativ weit entwickelt sind Injektionssolarzellen. Mit diesem Zellkonzept lassen sich im Labor Wirkungsgrade um 10 % realisieren. Farbstoff- bzw. Farbstoff-Polymer-Systeme haben derzeit Wirkungsgrade von unter 1 %. Die geringe Lebensdauer dieser Solarzellen stellt noch ein wesentliches Problem dar.

Photovoltaiksysteme bestehen neben den eigentlichen Solarenergiekonvertern aus weiteren Elementen. Neben mechanischen Strukturkomponenten sind dies - im Falle netzgekoppelter Systeme - vor allem Wechselrichter, die den Gleichstrom der Photovoltaikmodule an die Netzbedürfnisse anpassen. Im Fall von netzfernen Systemen kommen in der Regel Batteriespeicher, Batterielade- und Energiemanagementkomponenten sowie gekoppelte Energieerzeuger (Back-Up-Generatoren) hinzu. Je nach Anwendungsfall machen diese zusätzlichen Komponenten 40 bis 60 % der Gesamtkosten aus. Im Rahmen breiter Anwendungen konnte die hohe Verfügbarkeit aller Systemkomponenten nachgewiesen werden. Gute netzgekoppelte Systeme speisen etwa 80 % der idealerweise photovoltaisch konvertierten Energie in das Netz ein.

Die betriebswirtschaftliche Wettbewerbssituation von elektrischer Energie aus photovoltaischer Konversion wird primär durch den Anwendungsfall - netzgekoppelt oder netzfern - und durch die Solarstrahlungsverhältnisse bestimmt. Da der Energieertrag der Photovoltaik etwa proportional zur Einstrahlung ist, liefert eine Photovoltaikanlage z.B. im Mittelmeerraum im Vergleich zu einem entsprechenden System in Mitteleuropa etwa den doppelten Ertrag.

Die Investitionskosten für komplette netzgekoppelte Photovoltaikanlagen in Deutschland liegen zwischen 10.000 und 15.000 DM/kW. Daraus ergeben sich je

nach Anwendungsfall Stromgestehungskosten zwischen 0,7 und 1,4 DM/kWh.⁵⁶⁾ Trotz dieser im Vergleich zur konventionellen Energiebereitstellung ungünstigen Kostensituation wurden in Deutschland 1997 - unterstützt durch gezielte Förderprogramme - 10 MW netzgekoppelte Photovoltaik-Anlagen neu installiert. Die gesamte installierte Leistung betrug Ende 1997 30 MW - damit wurden 0,004 % des Endenergiebedarfs an elektrischer Energie in Deutschland bereitgestellt. Das technische Potential der Photovoltaik und die Möglichkeiten einer Kostenreduktion sind jedoch noch nicht ausgeschöpft. Allein durch Installation auf solargeeigneten Dächern und an Gebäudefassaden wird für Deutschland ein Potential von 40 - 120 TWh/a geschätzt. Eine deutliche Kostensenkung der Systeme wird bei einer Massenproduktion von Siliciumsolarzellen, insbesondere bei der Einführung von Dünnschichttechnologien, für möglich gehalten, bedarf aber langfristiger Anstrengungen in Forschung und Entwicklung, um zu konkurrenzfähigen Stromgestehungskosten zu gelangen. Auf längere Sicht kann photovoltaische Energiebereitstellung einen wichtigen Beitrag zu einer künftigen Energieversorgung leisten.⁵⁷⁾

Bei der netzfernen autonomen Energieversorgung von Einzelverbrauchern stellt sich in vielen Fällen die Wettbewerbssituation für die Photovoltaik anders dar. In diesem Anwendungsfall besteht die konkurrierende Technologie in der Regel in der Neuerstellung und dem kontinuierlichen Unterhalt von Netzleitungen - der Aufwand hierfür übersteigt häufig die Kosten für die transportierte Energie. Verstärkte Bemühungen, flächendeckende Energieversorgungssysteme in entlegenen Regionen in Asien, Lateinamerika und Afrika aufzubauen, sowie die weitere Entwicklung der Telekommunikationstechnik könnten den Bedarf für netzferne Energieversorgung in den kommenden Jahren stark anwachsen lassen. Photovoltaik bietet hierfür Lösungen mit vergleichsweise geringen Kosten und hoher Systemzuverlässigkeit. Technische Entwicklungsaufgaben stellen sich für diesen Anwendungsbereich vor allem auf dem Gebiet der Stromaufbereitungs- und Energiespeichertechnik, um Systemlebensdauern zu erreichen, die denen der Photovoltaikmodule entsprechen.

⁵⁶⁾ Kaltschmitt, Martin und Andreas Wiese: Perspektiven regenerativer Energien in Deutschland aus der Sicht der Wissenschaft, Stuttgart 1997, S. 134 f.

⁵⁷⁾ Vgl. Deutsche Shell Aktiengesellschaft (Hrsg.): Erneuerbare Energie - Shell setzt auf Solarenergie und Biomasse, Hamburg 1997.

Der globale Photovoltaikmarkt betrug 1997 etwa 120 MW Spitzenleistung. Etwa 20 % entfielen auf Kleinstanwendungen (Taschenrechner, Uhren etc.), 60 % auf die netzferne Energieerzeugung (Telekommunikation, "solar home systems" etc.) und 20 % auf netzgekoppelte Systeme.

Die deutsche Industrie hatte 1997 einen Anteil von 24 % an der weltweiten Produktion photovoltaischer Zellen - die zugehörigen Produktionsstandorte liegen weitgehend im Ausland. Für 1998/99 ist der Ausbau der Photovoltaikproduktion in Deutschland um etwa 35 MW vorgesehen.

Ergänzend zu den Mitteln, die im Rahmen der Grundfinanzierung insbesondere der Helmholtz-Zentren für die Solarenergieforschung aufgebracht wurden, stellte das BMBF 1998 etwa 60 Mio. DM für die Projektförderung auf dem Gebiet der Photovoltaik einschließlich Fördermitteln für die Industrie zur Realisierung von Photovoltaikproduktionsanlagen zur Verfügung.

Etwa 30 Universitäten, 30 Fachhochschulen sowie 16 außeruniversitäre Einrichtungen haben Forschungsschwerpunkte auf dem Gebiet der Solarenergie (vgl. Tabelle 1 im Anhang). In den letzten Jahren wurden auf diesem Forschungsgebiet erhebliche Kapazitäten aufgebaut. Nur wenige Einrichtungen verfügen jedoch über ausgeprägte Schwerpunkte in diesem Bereich.

Stellungnahme

Photovoltaische Energieversorgung ist eine Technik, deren Machbarkeit und Zuverlässigkeit nachgewiesen sind. Sie erzeugt im Betrieb keine stofflichen Emissionen.

Im Anwendungsgebiet netzferner autonomer Stromversorgung - insbesondere von Einzelverbrauchern - hat die Photovoltaik bereits heute einen Markt von global knapp 100 MW/a (entsprechend etwa 3 Mrd. DM/a Systemkosten). Die Zuwachsraten betragen zwischen 15 und 20 % pro Jahr. Umfang und Wachstum dieses Anwendungsgebiets hängen im wesentlichen von der Reduktion der über die Lebensdauer der Systeme kumulierten Kosten, von der Erzielung möglichst hoher Wartungsfreiheit der Systeme sowie von der Erschließung neuer Einsatzfelder für netzferne Stromerzeugung (Telematiksysteme, Versorgung von Telekommunikationsendgeräten etc.) ab. Neben der Reduktion der Kosten der Photovoltaikmodule er-

fordert dies insbesondere Entwicklungen im Bereich der elektronischen Systemtechnik, von Energiespeicherverfahren sowie von angepaßten Qualitätssicherungsverfahren.

Im Bereich der Energieeinspeisung in Verbundnetze ist der Beitrag der Photovoltaik derzeit vernachlässigbar gering. Haupthemmschwelle sind die Kosten, die wesentlich über den Bereitstellungskosten aus konventionellen Energieträgern liegen. Ziel der Photovoltaikforschung muß in erster Linie eine deutliche Kostenreduktion der Systeme (Module und Elektronik) sein. Hierzu sind Forschungsarbeiten vor allem in folgenden Gebieten notwendig:

- Produktionstechnologie von Silicium-Wafer-Solarzellen, Erhöhung der Zellenwirkungsgrade in der Produktion;
- Metallurgie und Produktionstechnik von kostengünstigem "solar grade" Silicium;
- Dünnschichtsolarzellentechnologien, die sich erst seit wenigen Jahren in einem intensiven Entwicklungsstadium befinden (inklusive Produktionstechnologie); insbesondere Kupferindiumdiselenid und Cadmiumtellurid sowie dünnes kristallines Silicium;
- Entwicklung von Systemkomponenten, insbesondere angepaßter Leistungselektronik und Speichersystemen, von hoher Lebensdauer bei geringen Kosten.

Forschungen auf dem Gebiet unkonventioneller Solarzellen (Injektionszellen, Farbstoff-Polymer-Systeme etc.), insbesondere zur Optimierung der Langzeitstabilität, sowie von Tandem- und Konzentradorstrukturen sollten ebenfalls in angemessenem Umfang verfolgt werden.

In Forschung und Entwicklung sowie in der industriellen Produktionstechnologie ist Deutschland neben den USA und Japan führend auf dem Gebiet der Photovoltaik. Wichtige Forschungsaktivitäten sind unter anderem in Forschungsverbänden lokalisiert; ergänzt werden diese Arbeiten durch Schwerpunktaktivitäten an einzelnen Universitäten. Allerdings ist eine ausgeprägte Zersplitterung der Aktivitäten auf viele häufig mit unterkritischem Einsatz betriebene Forschungen an nahezu allen Universitäten zu erkennen. (Vgl. Tabelle 1a im Anhang.)

Aufgrund ihres hohen technischen Potentials könnte die Photovoltaik langfristig einen wichtigen Beitrag zu einer künftigen Energieversorgung bereitstellen; dies gilt auch für die Versorgung von mitteleuropäischen Industrieländern. Dafür ist eine deutliche Kostensenkung der Systeme (Module und Elektronik) notwendig. Die schnelle und effektive Einführung der Photovoltaik in neue Marktbereiche könnte durch gezielte, zeitlich begrenzte Demonstrationsvorhaben gefördert werden.

(2) Solarthermie zur Wärmebereitstellung

Ausgangslage

Die an der Erdoberfläche auftreffende Solarstrahlung kann direkt in Nieder-, Mittel- und Hochtemperaturwärme umgewandelt und für das Energiesystem nutzbar gemacht werden. Unter den in Mitteleuropa vorliegenden meteorologischen Gegebenheiten ist fast ausschließlich eine Nutzung als Niedertemperaturwärme sinnvoll. Man unterscheidet zwischen passiven Systemen, bei denen die Strahlung beispielsweise durch die Gebäudehülle passiv und ohne zusätzlichen Energieaufwand in Wärme umgewandelt wird (vgl. A.VI.), und aktiven Systemen, bei denen die Wärme aktiv in der Regel mit zusätzlichem Energieaufwand aufgenommen und an den Ort der Nachfrage transportiert wird.

Diese aktiven Systeme, bestehen im wesentlichen aus Solarkollektor, Warmwasserspeicher, Umwälzpumpe und entsprechendem Rohrleitungssystem sowie einem elektrischen Steuerungssystem. Aktive Solarthermische Systeme sind mittlerweile mit großen anlagentechnischen Variationsmöglichkeiten verfügbar. In den letzten Jahren wurden die Effizienz und das Zusammenspiel der einzelnen Systemkomponenten erheblich verbessert. Die meisten marktgängigen Flachkollektoren sind als weitgehend technisch ausgereift anzusehen, das gilt auch für die Systemtechnik. Auch die Einbindung in die Energieversorgung eines Hauses zur dezentralen Warmwasserbereitung ist problemlos möglich. Forschungs- und Entwicklungsarbeiten konzentrieren sich insbesondere auf die Materialforschung sowie Verbesserungen im Systemaufbau und der Regelungsstrategie.

Obwohl der Einsatz von Solarkollektoren in den vergangenen fünf Jahren mit etwa 20 % pro Jahr erheblich zugenommen hat, trägt die solarthermische Wärmegewin-

nung bislang nur zu einem sehr geringen Teil zur Deckung der Niedertemperaturwärme in Deutschland bei. Ende 1997 waren in Deutschland etwa 2 Mio. m² Solarkollektoren unterschiedlichster Technik installiert. Das entspricht einer Deckung des Gesamtbedarfs an Niedertemperaturwärme in Deutschland (insges. ca. 2.220 PJ) von ca. 0,07 % (1995) bzw. 0,1 % (1997).

Thermische Solarkollektoren werden heute vor allem für die Warmwasserbereitung eingesetzt. In typischen Anlagen ist es möglich, hierdurch 50 bis 60 % des Bedarfs zu decken. Wichtigste Anwendungsgebiete sind die solare Brauchwassererwärmung im Haushaltssektor sowie die solare Schwimmbadheizung. Kleine Flachkolektoranlagen mit Kurzzeit-Wärmespeichern zur Warmwasserbereitung in Einfamilienhäusern können den Bedarf zumindest im Sommerhalbjahr weitgehend sicherstellen. Um für die solare Hausheizung ähnlich hohe Deckungsgrade wie für die Warmwasserbereitung zu erzielen, bietet sich für Neubaugebiete die solargestützte Nahwärmeversorgung an. Das BMBF fördert ein solares Nahwärmeprojekt mit einem 12.000 m³ großen Heißwasser-Erdbeckenspeicher sowie 2.800 m² Kollektorfläche. An diese Nahwärmeversorgung sind 280 Wohnungen angeschlossen.

Ein Nachteil für den Einsatz aller solaren Systeme liegt in dem Umstand, daß aufgrund des schwankenden Energieangebots und der geringen Strahlungsleistung im Winter auf ein Backup-System auf der Basis konventioneller Energieträger nicht verzichtet werden kann. Zudem ist eine saisonale Speicherung von Energie zur Zeit nur mit hohem Aufwand möglich; lediglich für Niedrigenergiehäuser bestehen erfolgversprechende Konzepte. Darüber hinaus steht die Bereitstellung von Wärme zur Raumheizung durch Solarthermie systemtechnisch in enger Verbindung zu bautechnischen Maßnahmen für eine rationelle Energieverwendung (vgl. Kapitel A.VI.). Angesichts der in Deutschland gegebenen klimatischen Bedingungen kann z.B. der Einsatz verbesserter Dämmsysteme einen erheblichen Beitrag zur Reduzierung des Wärmebedarfs leisten.

Die Investitionskosten für typische Flachkollektoren belaufen sich auf etwa 300 bis 400 DM pro m² Kollektorfläche. Die Wärmegestehungskosten aus Solarkollektor-Anlagen übersteigen die entsprechenden Kosten aus üblichen Heizkesselanlagen bei den derzeitigen Brennstoffkosten um ein Mehrfaches. Bei Niedrigenergie-

häusern mit solarkombinierten Heizsystemen ergeben sich Kostenreduktionspotentiale für das konventionelle Heizsystem.

Stellungnahme

Die Solarthermie leistet bislang nur einen sehr geringen Beitrag zur Deckung des Bedarfs an Niedertemperaturwärme in Deutschland. Ein betriebswirtschaftlich sinnvoller Einsatz ist nur in Einzelfällen wie z.B. der solaren Schwimmbadheizung oder in Passivhäusern mit minimiertem Wärmebedarf gegeben. Nur bei einer erheblichen Kostenreduktion und zugleich verbesserter Technik dürfte die energiewirtschaftliche Bedeutung der solarthermischen Wärmergewinnung mittel- bis langfristig zunehmen und dann einen deutlich über den gegenwärtigen Anteil hinausgehenden Beitrag zur Deckung der Wärmenachfrage in Deutschland leisten.

Zudem sollte dem Einsatz von Solarwärme-Kollektoranlagen zur Wärmergewinnung für die Beheizung von Gebäuden unter den in Deutschland gegebenen klimatischen Bedingungen eine Minimierung des Raumwärmebedarfs durch möglichst effiziente Wärmedämmung vorausgehen. Der umweltentlastende Effekt von solarthermischen Anlagen durch die Einsparung fossiler Brennstoffe ist beim derzeitigen Gebäudebestand geringer einzuschätzen als bei Wärmedämmungsmaßnahmen und auch mit höheren Kosten verbunden.

Dennoch sind weitere produktnahe Verbesserungen und Systemoptimierungen möglich und erforderlich, um die Kosten zu reduzieren. Das gilt auch für größere zentrale Nahwärmenetze, bei denen Solaranlagen in Kombination mit anderen Energietechniken (z.B. einem Blockheizkraftwerk) und ggf. saisonalen Speichern genutzt werden.

Unter diesen Aspekten sind Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf den folgenden Gebieten gerechtfertigt, wenn dadurch die spezifischen Kosten gesenkt sowie eine deutliche Verbesserung der Verfügbarkeit der Anlagen und Verlängerung der Lebensdauer erzielt werden können:

- Verbesserung der Flachkollektoren sowie der Vakuum-Röhren-Kollektoren zur Minimierung der Kosten und Erhöhung der Effizienz durch industrielle Massenproduktion; vor allem weitere Aktivitäten in der Materialforschung zur Entwicklung selektiver Absorber mit hoher Lebensdauer bei umweltschonender Produktion, Entwicklung von Infrarot-Spiegeln für transparente Abdeckungen sowie von preisgünstigen Antireflex-Strukturen;
- Entwicklung wirtschaftlicherer Gesamtsysteme und verbesserte Integration der einzelnen Komponenten innerhalb des Gesamtsystems aus Kollektoren, Speicher, elektrischen Kleinwärmepumpen und Zusatzheizung unter Berücksichtigung der jeweils gegebenen Nachfrage;
- Entwicklung kostengünstiger Mehrtagespeicher und saisonaler Speicher, insbesondere für Niedrigenergiehäuser z.B. über physiko-chemische Verfahren;
- bessere Einbindung von Solarkollektoren in Energieversorgungssysteme im Rahmen umfassender Energie- und Umweltkonzepte.

(3) Solarthermische Kraftwerke

Ausgangslage

Das technisch sinnvolle Einsatzgebiet von solarthermischen Kraftwerken, die solar erzeugte Hochtemperaturwärme über Wärmekraftmaschinen in Strom umwandeln, ist auf Länder im Sonnengürtel der Erde beschränkt. Während die solare Energieeinstrahlung in den für diese Technik geeigneten Wüstengebieten um den Äquator sich jährlich auf 2.000 bis 2.600 kWh/m² summiert, liegt sie in Deutschland im Mittel nur bei rund 1.050 kWh/m² im Jahr.

Die für solarthermische Kraftwerke notwendigen hohen Temperaturen sind nur im Brennpunkt oder in der Brennlinie von ausgedehnten, abbildenden Solarkollektoren zu erreichen, die dem täglichen Sonnengang nachzuführen sind. Nutzbar ist bei allen abbildenden Verfahren nur die solare Direktstrahlung. Bislang wurden vier Typen von solarthermischen Kraftwerken konzipiert:

- Solarfarmen mit trogförmigen Rinnen parabolischen Querschnitts (einachsige Nachführung der Rinne mit einer ausgedehnten Brennlinie):

Im kommerziellen Betrieb haben sich bisher nur Solarfarmen bewährt, die elektrische Energie in ein Verbundnetz einspeisen. In Kalifornien wurden bis 1989 neun Anlagen mit einer Gesamtkapazität von 354 MW von privaten Anlegern unter Nutzung erheblicher Steuervorteile errichtet. Diese Anlagen wandeln mit bis zu 14 % Wirkungsgrad Solarstrahlung in elektrische Energie um, wobei die spezifische Aperturfläche des Kollektors rund 6 m² je Kilowatt beträgt. Ein 100 MW-Kraftwerk würde somit ein Kollektorfeld von rund 0,6 km² benötigen; der Flächenbedarf für die Gesamtanlage läge bei rund 2 km². Für das zuletzt gebaute Kraftwerk mit 80 MW Leistung beliefen sich die Investitionskosten auf 3.500 US-Dollar/kW. Seitdem wurde weltweit keine Anlage mehr errichtet.

- Solarturmkraftwerke mit Heliostatenfeld (zweiachsige Nachführung des einzelnen Heliostaten und Fokussierung in einen ausgedehnten "Brennpunkt" auf einem Turm):

Es bestehen mehrere Solarturmkraftwerke im Versuchsstadium mit einer Kapazität zwischen 0,5 und 10 MW. Ein 1988 in der kalifornischen Wüste stillgelegtes Solarturm-Kraftwerk mit einer Leistung von 10 MW wies vergleichbare Wirkungsgrade der Umwandlung von Solarstrahlung auf wie die oben beschriebenen Solarfarm-Kraftwerke. Aufgrund der höheren Prozeßtemperaturen sollten jedoch höhere Wirkungsgrade zu erreichen sein. Für die Einkopplung der Solarwärme in den Kraftwerksprozeß bestehen neue, noch zu erprobende Konzepte.

- Dish-Systeme (zweiachsig nachgeführter Parabol-Spiegel, in dessen Brennpunkt sich z. B. ein Stirling Motor befindet) mit einer elektrischen Leistung bis zu einigen 10 kW existieren bislang lediglich im Testbetrieb.
- Aufwindkraftwerke (unter einem Solardach steigt erwärmte Luft in einem Turm auf und treibt über eine Turbine einen Generator an):

Abweichend von den ersten drei beschriebenen Systemen ist für Aufwindkraftwerke keine Hochtemperaturwärme erforderlich, so daß auch die Diffusstrahlung nutzbar

ist. Aufbauend auf den Ergebnissen einer Versuchsanlage in Spanien mit 50 kW elektrischer Leistung wurde ein 100 MW Aufwindkraftwerk auf eine Turmhöhe von 1.000 m konzipiert; eine Realisierung ist bislang nicht erfolgt.

Ziel der laufenden Untersuchungen ist es, die Kosten für die solarthermische Stromerzeugung zu senken und bei hoher Versorgungssicherheit Erdgas als Brennstoff in einem Hybridkraftwerk effizienter zu nutzen. Allerdings zeigte ein Standortvergleich, daß ein Solar-GuD-Hybrid-Kraftwerk mit Trockenkühlung bei maximalem solarthermischem Zusatzdampf eine geringere elektrische Leistung in das Netz einspeist als dasselbe, nur mit Erdgas befeuerte GuD-Kraftwerk an einem geeigneten Standort mit Frischwasserkühlung und bei 10 EC niedrigerer Umgebungstemperatur.

Als langfristiges Ziel für den Einsatz solarthermischer Kraftwerke wird ein Betrieb ohne fossile Energieträger rund um die Uhr oder zumindest bei wesentlich höherer Jahresnutzungsdauer angestrebt. Hierzu ist es erforderlich, effiziente und kostengünstige Hochtemperaturspeicher zu entwickeln. Bei diesem Kraftwerkstyp ist von wesentlich höheren Kollektorflächen pro installierter Leistung und erheblichen Zusatzkosten für den Hochtemperaturwärmespeicher auszugehen und damit von weit höheren spezifischen Kosten als bei den Hybrid-Kraftwerken.

Mit Unterstützung der EU beteiligen sich deutsche Forschungsinstitute und Unternehmen an der Entwicklung solarthermischer Techniken zur Stromerzeugung. Unter dem Dach der Internationalen Energie-Agentur (IEA) haben sich Forschungs- und Entwicklungslabors aus Australien, Brasilien, Deutschland, Frankreich, Israel, Schweiz, Spanien, Rußland und den USA zu einem gemeinsamen Programm SOLAR PACES (Solar Power and Chemical Energy Systems) zusammengeschlossen.

Stellungnahme

Die Errichtung neuer solarthermischer Kraftwerke, die als Großkraftwerke in das öffentliche Versorgungsnetz einspeisen, trifft aufgrund der kostengünstigen und hocheffizienten konventionellen Kraftwerkstechnik und den derzeit niedrigen Preisen für fossile Brennstoffe auf ein schwieriges energiewirtschaftliches Umfeld.

Die hohen spezifischen Investitionskosten wirken sich hemmend auf den Bau eines derartigen Kraftwerks aus.

Da Deutschland aufgrund der klimatischen Randbedingungen als Standort für diesen Kraftwerkstyp nicht in Frage kommt, kann die Technologie nur als Exportprodukt sowie im Rahmen von Auslandsaktivitäten deutscher Energieversorgungsunternehmen mittelfristig an Bedeutung gewinnen. Es ist jedoch davon auszugehen, daß der Wertschöpfungsanteil an der Technik solarthermischer Kraftwerke in den Zielländern - in der Regel Entwicklungsländer - vergleichsweise hoch sein wird.

Versorgungssicherheit und Mittellastbetrieb im reinen solaren Betrieb lassen sich nur durch eine entsprechende Vergrößerung des Solarfeldes und Integration eines zu entwickelnden Speichers für Hochtemperaturwärme erreichen, wobei erhebliche Zusatzkosten anfallen.

Die Integration des Solarfelds in ein GuD-Kraftwerk ermöglicht eine bedarfsgerechte Bereitstellung elektrischer Energie bei optimaler Nutzung des Brennstoffes Erdgas. Voraussetzung bildet jedoch die Wahl eines Standorts mit optimalen Bedingungen für die Kühlung des Kraftwerks. Neben einer hohen solaren Direktstrahlung müssen an einem geeigneten Standort ausreichende Flächen, beispielsweise in unbewohnten Wüstengebieten, vorhanden sein. Zusätzlich wird eine Infrastruktur mit Anbindung an das Hochspannungs- und Verkehrsnetz sowie eine Versorgungsstruktur für fossile Energieträger erforderlich. Die Summe aller Anforderungen gestaltet neben der Finanzierung die Wahl eines geeigneten Standorts für ein GuD-Solarkraftwerk schwierig.

Forschungsbedarf besteht insbesondere bei der Speicherung von Wärme auf hohem Temperaturniveau (mehr als 400 EC). Daneben gilt es, stärker anwendungsorientierte Entwicklungen mit großer Nähe zu Produkten zu verfolgen, in die die entsprechende Industrie maßgebend einzubeziehen ist. Zu nennen sind insbesondere:

- der Einsatz geschlossener volumetrischer Receiver zur Luftvorwärmung in Kombination mit Gasturbinen,

- die Hybridisierung von Solarturmanlagen,
- die Lösung der mit der solaren Direktverdampfung verbundenen technischen Herausforderungen unter dem primären Gesichtspunkt einer Kostenreduktion für den solaren Dampferzeuger.

Für die zuletzt genannten Entwicklungen sollen das vorhandene Wissen und die bisherigen Erfahrungen sowie die noch zu erarbeitenden technischen Entwicklungen unter realistischen Bedingungen in Pilotanlagen getestet werden.

III.4. Weitere Energiewandlungstechniken

4.1. Brennstoffzellen

Ausgangslage

Brennstoffzellen wandeln die in gasförmigen Brennstoffen gebundene chemische Energie bei der Reaktion mit Sauerstoff direkt in elektrische und thermische Energie um. Sie besitzen insbesondere bei Teillast einen höheren Wirkungsgrad als Systeme auf der Basis von Wärmekraftmaschinen und zeichnen sich darüber hinaus durch sehr geringe oder ganz fehlende Schadstoffemissionen aus.

Die Basisbausteine von Brennstoffzellen sind zwei Elektroden, an denen die Reaktionen ablaufen, und ein Elektrolyt, der die beiden Elektroden gasdicht voneinander trennt und den elektrischen Kontakt verhindert. Als Elektrolyte finden ionenleitende Lösungen, Schmelzen oder Kunststoffmembranen Verwendung. Da die Zellspannung einzelner Brennstoffzellen zu gering ist, werden mehrere Zellen zusammengeschaltet, d.h. gestapelt (Stacks).

Den höchsten Wirkungsgrad erreichen Brennstoffzellen beim Einsatz von reinem Wasserstoff und reinem Sauerstoff. Neben Wasserstoff können jedoch auch andere Brennstoffe wie Erd-, Bio-, Kohlegas oder Methanol eingesetzt werden. Dabei müssen die Brenngase sorgfältig bezüglich möglicher Katalysatorgifte gereinigt werden. Die für den Betrieb der Brennstoffzelle erforderliche Aufbereitung (Reformierung)

des chemisch gebundenen in molekularen Wasserstoff kann entweder innerhalb oder außerhalb der Brennstoffzelle erfolgen.

Übersicht 13: Typen von Brennstoffzellen

Typ	Einsatzgebiet	Entwicklungsstand	Vorteile	Nachteile	Investkosten 1997 (DM/kW)	angestrebte Investkosten (DM/kW)
AFC	Raumfahrt, KFZ	kommerziell verfügbar	hoher Wirkungsgrad	geringes Abwärmepotential	800	
PEMFC	KFZ, stationär	in Entwicklung	einfacher Aufbau	geringes Abwärmepotential	10.000 ... 100.000	50...300
PAFC	Kraftwerk	kommerziell verfügbar	Abwärmepotential für Reformierung nutzbar	Spannungsverluste durch Kathod.kinetik	4.000...5.000	1.000...2.000
MCFC	Kraftwerk	in Entwicklung	interne Reformierung, hohes Abwärmepotential	aggressive Schmelze, CO ₂ -Rückführg. erf.	10.000	
SOFC	Kraftwerk	in Entwicklung	interne Reformierung, hohes Abwärmepotential	hohe Materialgüte infolge hoher Temperatur	200.000... 300.000	1.000...2.000
SPFC	stationär, mobil	in Entwicklung	hohe Stromdichte	geringes Abwärmepotential	1.700...2.500	
DMFC	mobil, stationär	in Entwicklung	direkte Umsetzung aus Brennstoff, Methanol	geringes Abwärmepotential		

AFC...Alkaline Fuel Cell

PAFC...Phosphoric Acid Fuel Cell

SOFC...Solid Oxid Fuel Cell

DMFC...Direct Methanol Fuel Cell

PEMFC...Proton Exchange Membrane Fuel Cell

MCFC...Molten Carbonate Fuel Cell

SPFC...Solid Polymer Fuel Cell

Heute existiert eine größere Zahl unterschiedlicher Typen von Brennstoffzellen. Einen Überblick über die wichtigsten Typen gibt Übersicht 13. Der Stand der Entwicklung und damit die faktische Einsatzreife der verschiedenen Brennstoffzellensysteme ist unterschiedlich. Als einziger Brennstoffzellen-Typ wurde bisher die phosphorsaure Brennstoffzelle PAFC in größerem Umfang in den Markt eingeführt.

Die am längsten für spezielle Anwendungen technisch optimierte Alkalische Brennstoffzelle AFC wird zunehmend von der Membran-Brennstoffzelle PEMFC verdrängt, die in den letzten Jahren relativ marktnah entwickelt wurde. Direktmethanol-Brennstoffzellen DMFC stehen derzeit noch am Anfang ihrer Entwicklung. Auch Hochtemperatur-Brennstoffzellen (MCFC, SOFC) befinden sich momentan noch in der Entwicklung. Die Oxidkeramische Brennstoffzelle SOFC bietet ein flexibles Einsatzpotential mit höchsten Wirkungsgraden.

Stellungnahme

Brennstoffzellen stellen eine innovative und umweltschonende Technologie dar. Sie verfügen über ein großes Potential zur hocheffizienten Energiewandlung bei stationären und mobilen Anwendungen. Zu den Hauptvorteilen von Brennstoffzellen im Vergleich zu konventionellen Techniken gehören, neben potentiell hohen elektrischen Wirkungsgraden und je nach Brennstoffzellen-Typ lokaler Emissionsarmut bzw. -freiheit, ihr modularer Aufbau sowie ihre Geräuscharmheit.

Obwohl insbesondere in den letzten Jahren eine Reihe von Entwicklungsschritten erzielt wurden, ist bisher kein großflächiger Einsatz von Brennstoffzellen erfolgt. Dies hängt in erster Linie mit den heute noch zu hohen Herstellungskosten zusammen.

Das künftige Einsatzpotential von Brennstoffzellen wird daher wesentlich davon bestimmt, ob und in welchem Umfang es gelingt, die Herstellungskosten zu senken. Darüber hinaus wird auch entscheidend sein, wie weit das noch nicht ausgeschöpfte Optimierungspotential konventioneller Energieerzeugungstechniken und Fahrzeugantriebe realisiert wird. Schließlich ist bei einer vergleichenden Betrachtung etwa von Kohlendioxidemissionen, das gesamte Brennstoffzellen-System mit vorgelagerten Prozessen, wie z.B. der Brennstoffaufbereitung zur Erzeugung von Wasserstoff, zu berücksichtigen.

Der Umfang der Förderung von Brennstoffzellenentwicklungen ist in Deutschland deutlich niedriger als in den USA und Japan, wo einige spezifische Gründe dazu geführt haben, daß über mehrere Jahrzehnte hinweg kontinuierlich mit vergleichs-

weise hohem Aufwand Forschung zur Brennstoffzellentechnologie betrieben wurde.⁵⁸⁾ In den letzten Jahren hat die Brennstoffzellenforschung in Deutschland einen gewissen Aufschwung erlebt. Arbeiten zur Brennstoffzelle werden zum Teil an Hochschulen, vor allem aber in Forschungszentren und in der Industrie durchgeführt.

Angesichts der großen Entwicklungspotentiale, die die Brennstoffzellentechnologie insbesondere unter Umweltgesichtspunkten bietet, sollte ihre Entwicklung weiterhin nachdrücklich gefördert werden. Die Brennstoffzellentechnologie stellt ein Forschungsgebiet dar, bei dem es insbesondere auf enge Kooperation zwischen Industrie und Wissenschaft ankommt. Ein Schwerpunkt der Forschung sollte in der Umsetzung der Brennstoffzellen-Technologie im Rahmen von Demonstrations- und Pilotprojekten liegen. Deutsche und europäische Förderaktivitäten sollten dabei entsprechend dem Subsidiaritätsprinzip aufeinander abgestimmt werden.⁵⁹⁾

Aufgrund der Vielfalt der Aspekte, die bei einer systematischen Weiterentwicklung der Brennstoffzellentechnologie zu berücksichtigen sind, ist es erforderlich, daß grundlagenorientierte und anwendungsbezogene Forschungseinrichtungen untereinander und insbesondere mit Anwendern eng kooperieren. Flexible Förderinstrumente wie Verbundprojekte und Sonderforschungsbereiche eignen sich besonders, um solche Kooperationen zu institutionalisieren. Schwerpunkte der Forschung sollten im Bereich der Steigerung des Systemwirkungsgrads, bei der Klärung von Werkstofffragen sowie insbesondere bei der Weiterentwicklung der Direktmethanolbrennstoffzelle und bei der Direktwandlung von gängigen Kraftstoffen gesetzt werden.

4.2. Wasserstofftechnik

Ausgangslage

⁵⁸⁾ Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag: Zum Entwicklungsstand der Brennstoffzellentechnologie, September 1997, S. 89.

⁵⁹⁾ Vgl. Europäische Kommission, Generaldirektionen 12 und 17: A fuel cell research, development and demonstration strategy for Europe up to 2005, Brüssel 1998.

Wasserstoff ist ein gasförmiges Element, das in der Natur nur in chemischen Verbindungen auftritt. Zur Abspaltung von Wasserstoff aus dem Molekülverbund muß zusätzliche Energie aufgewendet werden. Wasserstoff bildet mit Sauerstoff Wasser. Da die Meere 71 % der Erdoberfläche bedecken, besteht ein nahezu unerschöpflicher Vorrat an Wasserstoff, der durch Wasserspaltung mittels Elektrolyse oder über stark endotherme chemische Prozesse unter Energie- und Exergieverlust hergestellt werden kann. Wasserstoff kommt darüber hinaus als Kohlehydrat in Biomasse und als Kohlenwasserstoff in Kohle, Erdöl und Erdgas vor.

In der Chemischen Industrie wird Wasserstoff nach seiner Gewinnung aus Rohstoffen als Zwischenprodukt z. B. bei der Herstellung von Kunstdünger oder in Raffinerien zur Hydrierung von Rohöl eingesetzt. Neben der Nutzung als Zwischenprodukt eignet sich Wasserstoff aufgrund seiner hohen massenbezogenen Energiedichte und der umweltfreundlichen energetischen Umsetzung mit Sauerstoff in Wasser auch als Energieträger. Allerdings ist er ein Sekundärenergieträger, der nur unter Energieverlust durch die Umwandlungskette (Elektrolyse, Speicherung von Wasserstoff, Umwandlung in Elektrizität) und zusätzlichem Kapitalbedarf aus Primärenergieträgern gewonnen werden kann. Der Einsatz von Wasserstoff als Sekundärenergieträger muß sich daher der Konkurrenz mit anderen Energieträgern in einem ökologischen und ökonomischen Vergleich stellen. Der Vorzug von Wasserstoff als Energieträger besteht darin, daß auf dieser Basis ein geschlossenes Energieträgersystem etabliert werden kann, das ökologisch gut verträglich ist. Wasserstoff kann sowohl als Sekundärenergieträger als auch als Energiespeichermedium (z. B. Speicherung von Elektrizität durch elektrolytisch erzeugten Wasserstoff) verwendet werden.

Beispiele für den möglichen direkten Einsatz von Wasserstoff sind die Wärmeversorgung mittels katalytischer Heizer, die Verwendung als Kraftstoff zum Antrieb von Motoren und Turbinen oder auch der Einsatz in Brennstoffzellen zur stationären und mobilen Stromerzeugung. Solche Anwendungen von Wasserstoff befinden sich zur Zeit in der Erprobung und Entwicklung. Besondere Anstrengungen richten sich auf die Optimierung der Verfahren zur Gewinnung von Wasserstoff. Wasserstoff kann gewonnen werden

- aus fossilen Brennstoffen (Erdgas, Erdöl und Kohle) und aus Biomasse, z.B. durch Reformierung mit Wasserdampf bei hohen Temperaturen und Drücken,
- durch Wasserspaltung zu Wasserstoff und Sauerstoff mittels Elektrolyse unter Aufwand von elektrischer Energie,
- durch katalytische Wasserspaltung zu Wasserstoff und Sauerstoff mit z.B. Eisenoxid als Katalysator.

Erwogen wurde z.B., billigen Wasserkraftstrom in Kanada oder Island zu nutzen und den so gewonnenen Wasserstoff in verflüssigter Form in großen Tankschiffen nach Mitteleuropa zu transportieren; Kostenberechnungen haben jedoch zur Einstellung der Planungen geführt. Andere Szenarien gehen von sehr großen "Solarwasserstoffplantagen" in Wüstengebieten aus, die aus solarer Stromerzeugung (photovoltaische oder solarthermische Anlagen) und elektrolytischer Wasserstoffherzeugung bestehen. Da Solarzellen Gleichstrom erzeugen, wie ihn auch die Elektrolyse benötigt, ist eine relativ einfache Koppelung der Systeme möglich. Zwischen Deutschland und Saudi-Arabien ist schon vor einigen Jahren ein Wasserstoffprojekt unter der Bezeichnung Hysolar durchgeführt worden. Es umfaßte die Errichtung einer 350 kW Elektrolysedemonstrationsanlage in Riad, die aus einer seit 1981 bestehenden 350 kW Photovoltaikanlage gespeist wird. In dem System gehören darüber hinaus Anlagen zur Behandlung, Kompression und Speicherung des Wasserstoffgases. Eine ähnliche Anlage wird in Neunburg/Oberpfalz betrieben (Solarwasserstoff Bayern GmbH SWB), in der darüber hinaus auch die Nutzung von Wasserstoff zur stationären und mobilen Strom- und Wärmeerzeugung untersucht wird.

Neuere Forschungsansätze richten sich auf die photobiologische und photoelektrochemische Erzeugung von Wasserstoff. Die photobiologische Wasserstoffherzeugung ist sowohl durch die Freisetzung von photolytisch gewonnenem Wasserstoff als auch durch den Abbau des in der Biomasse gespeicherten Wasserstoffs mit geeigneten Mikroorganismen möglich. Die praktisch einsetzbaren Systeme der photobiologischen Wasserspaltung sind jedoch noch nicht wirtschaftlich und weisen darüber hinaus einen niedrigen Wirkungsgrad auf.

Stellungnahme

Wasserstoff als Sekundärenergieträger auf Basis regenerativer Energiequellen hat langfristig das Potential, eine gewisse Rolle in einer umweltschonenden Energieversorgung zu übernehmen. Von der Wirtschaftlichkeit im großen Maßstab ist die Wasserstofftechnologie jedoch noch weit entfernt. Dies trifft insbesondere für solarerzeugten Wasserstoff zu. Darüber hinaus bedürfte es zu einer breiten Nutzung einer umfassenden, heute noch nicht existierenden Infrastruktur.

Die öffentliche Förderung sollte sich auf Grundlagenuntersuchungen (z.B. photoelektrochemische und mikrobakterielle Erzeugung von Wasserstoff, Wasserstoffspeicher mit hoher Speicherdichte wie z.B. Graphitfaser) und konkrete anwendungsorientierte Projekte konzentrieren, in denen der Einsatz von Wasserstoff mittelfristig insbesondere umweltspezifische Vorteile verspricht.

A.IV. Energietransport und -verteilung

Ausgangslage

Energieträger werden aus technischen oder ökonomischen Gründen vielfach nicht unmittelbar am Ort ihres Vorkommens direkt zur Energiebereitstellung genutzt oder in nutzbare Energie umgewandelt. Feste, flüssige oder gasförmige Primärenergieträger wie Kohle, Erdöl oder Erdgas werden mit verschiedenen Verkehrsmitteln oder durch Rohrfernleitungen über teils transkontinentale Strecken zur Verarbeitung in Raffinerien und zum Einsatz in Kraftwerken transportiert oder direkt an die Endnutzer verteilt. In Kraftwerken aus Primärenergieträgern erzeugter Strom erreicht die Endverbraucher in Industrie und Haushalten über ein verzweigtes Netz von Transport- und Verteilungsleitungen. Um die bei industriellen Prozessen oder der Kraft-Wärme-Kopplung erzeugte Wärme zur Raumheizung und Brauchwasserversorgung nutzen zu können, wird sie mittels Warmwasser über Rohrleitungen als Fernwärme zu den Verbrauchern transportiert. Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf den Transport und die Verteilung von Strom sowie Netze für die Fernwärmeversorgung.

Der Transport und die Verteilung elektrischer Energie erfolgen über leitungsgebundene Übertragungs- und Verteilsysteme. Verteilsysteme versorgen Abnehmer in Industrie und Haushalten auf regionaler Ebene sowie Sonderabnehmer auf überregionaler Ebene mit elektrischer Energie, die von kleinen und mittelgroßen Kraftwerken oder aus dem Übertragungsnetz eingespeist wird. Das Übertragungsnetz wiederum stellt innerhalb des großflächigen Verbundes die landesweite Stromversorgung sicher und nimmt dafür elektrische Energie aus großen Kraftwerken oder aus anderen Verbundsystemen auf.

Übertragungs- und Verteilsysteme für elektrische Energie setzen sich im wesentlichen aus zwei Komponenten zusammen: Schalt- und Umspannanlagen sowie den sie verbindenden Leitungen. Bei letzteren handelt es sich im Fall der Übertragung in der Regel um Freileitungen, bei der Verteilung in städtischen Gebieten um unterirdisch verlegte Kabel.

Zentrale Fragen des Transports und der Verteilung elektrischer Energie sind Stabilität und Wirtschaftlichkeit der Netze. Um größere Übertragungsverluste zu vermeiden, sind in Übertragungsnetzen hohe Spannungen notwendig, die entweder in Form der Hochspannungsdrehstromübertragung (HDÜ) oder der Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ) erreicht werden. Heute dominieren weltweit HDÜ-Netze mit Spannungen von 420 oder 525 Kilovolt (kV) aufgrund des weniger aufwendigen Transformationsverfahrens und der größeren, aus hohen Übertragungsspannungen resultierenden Wirtschaftlichkeit. Über die Auslegung der Schaltanlagen entscheidet die verwendete Isoliertechnik; im Einsatz sind heute Freiluftanlagen, die wesentlich die Isolierfähigkeit der Luft nutzen, und gekapselte Schaltanlagen, in denen das Isoliergas Schwefelhexafluorid (SF_6) eingesetzt wird.

Bei der HDÜ sind technisch bereits Nennspannungen bis zu 1.200 kV realisiert, die die aus System- und wirtschaftlichen Gründen übliche Spannung in Westeuropa von maximal 420 kV weit übersteigen. Die Forschungen konzentrieren sich bei HDÜ-Netzen zum einen auf möglichst gezielte optimierte Energietransporte durch Verbesserung der Spannungs- und Blindleistungsregelung unter Einsatz statischer Kompensatoren und die Optimierung der Schaltanlagen im Hinblick auf ihren Platzbedarf, ihre Wirtschaftlichkeit und ihre Umweltverträglichkeit durch eine Verbesse-

rung der Isoliertechnik. Zum anderen wird eine Steigerung der Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit der Systeme durch Weiterentwicklungen im Bereich der Leittechnik einschließlich Schutztechnik und der Überwachung von Betriebsmitteln angestrebt.

HGÜ-Netze mit einer Spannung von bis zu 800 kV eignen sich für spezielle Anwendungen wie die Übertragung großer Energiemengen über weite Entfernungen, die Versorgung von Inseln oder die Kopplung leistungsstarker Netze, da sie bei steigender Übertragungsentfernung einerseits stabiler sind als HDÜ-Netze, andererseits deren Kostenvorteil abnimmt. Außerdem sind HGÜ-Netze unabhängig von der Frequenz der speisenden und gespeisten Systeme und ermöglichen dadurch eine Kopplung asynchroner Netze ohne die Notwendigkeit zur Anpassung verschiedener Regelsysteme. Dies und die Möglichkeit zur Stromübertragung über große Entfernungen gewinnen angesichts des Trends zur Ausweitung bestehender Verbundsysteme zunehmend an Bedeutung. Im Zentrum der Forschung zur HGÜ-Technik steht die Verbesserung von Systemkomponenten in technischer und insbesondere wirtschaftlicher Hinsicht; bedeutende Fortschritte wurden durch die Entwicklung von leistungselektronischen Komponenten in zuverlässigen und kostengünstigen Stromrichtern erzielt.

Bei den Leitungen gibt es zwei interessante Entwicklungen, die unter technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten zu bewerten sind. Bei den Freileitungen werden die Porzellanisolatoren durch Kunststoffisolatoren ersetzt, mit denen erste positive Betriebserfahrungen gesammelt wurden. An die Stelle von Hohlisolatoren treten heute Kunststoffhohlkörper, was bei inneren Durchschlägen bzw. Überschlägen deutliche Vorteile bezüglich Folgeschäden haben kann. Bei den unterirdischen Leitungen sind neben Kunststoffkabeln, die seit kurzem auch für die 400 kV-Spannungsebene entwickelt wurden, alternativ Rohrleitungen mit Mischgasen im Gespräch, da reine SF₆-isolierte Rohrleitungen aus ökologischen Gründen nicht akzeptabel erscheinen, obwohl in der Elektroindustrie SF₆ im geschlossenen Kreislauf eingesetzt wird.

Zur Stromverteilung dienen Nieder-, Mittel- und Hochspannungs-Drehstromnetze mit Spannungen von 400 V bis 123 kV. In der Regel bestehen die Leitungen im Nieder- und Mittelspannungsnetz aus Kunststoffkabeln. Die Schaltanlagen sind in

der Mehrzahl stahlblechgekapselt und werden häufig mit Luft isoliert; als Schaltelemente dienen überwiegend Vakuumschalter. Die bestehenden Verteilnetze sind unter technischen Gesichtspunkten bereits heute in der Lage, die in den kommenden Jahren zu erwartende Menge dezentral, z. B. unter Nutzung von Sonnenenergie oder Biomasse, bereitgestellter elektrischer Energie in den Netzbetrieb zu integrieren. Daher stehen im Mittelpunkt von Forschung und Entwicklung wie bei der Übertragungstechnik die technische und ökonomische Optimierung sowie die Verkleinerung der Schaltanlagen durch verbesserte Systemkomponenten, das heißt eine systematische Weiterentwicklung von Leistungshalbleitern sowie deren mögliche Integration in Schaltkreise und Module.

Der durch Deregulierung ausgelöste Strukturwandel in der Energiewirtschaft erfordert eine Energieoptimierung im dezentralen Bereich. Diese wird durch ein integriertes Management von Erzeugung, Speicherung und Anwendung elektrischer Energie einschließlich der Kraft-Wärme-Kopplung erreicht. Der verschärfte Wettbewerb führt in diesen Anwendungsbereichen zu vermehrten Forschungsanstrengungen mit dem Ziel einer Effizienzsteigerung in energetischen und administrativen Prozessen.

Bei den Forschungen zur Elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) von Geräten und Anlagen der Stromübertragung und -verteilung stehen der quantitative Nachweis und die statistische Sicherheit der Auswirkungen elektromagnetischer Felder unter Freileitungen oder in Schaltanlagen auf den menschlichen Organismus im öffentlichen Interesse. Angesichts der raschen Verbreitung hochempfindlicher elektronischer Geräte in allen Lebensbereichen ist vermehrt das gegenseitige Störungspotential der Geräte und Anlagen und dessen Beherrschung Gegenstand der Forschung.

Fernwärme fällt als Nebenprodukt industrieller Prozesse sowie bei der Kraft-Wärme-Kopplung überwiegend in industriell gut erschlossenen Ballungszentren an, so daß in der Regel bis zum Verbraucher Strecken von bis zu 50 km zu überwinden sind. Über weitere Entfernungen wird aus solar- und geothermischen Quellen bereitgestellte Wärme übertragen. Als Medium dient Warm- bzw. Heißwasser mit Temperaturen von bis zu 130 °C, das durch wärmeisolierte Rohre geleitet wird. Primäres Ziel von Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Fernwärmeversorgung, die vor allem von Energieversorgungsunternehmen und anwendungs-

orientiert arbeitenden außeruniversitären Einrichtungen mit öffentlicher Förderung betrieben wird, ist eine Senkung der Infrastruktur- und Betriebskosten; der bautechnischen Optimierung der Wärmeverteilung kommt dabei eine zentrale Rolle zu.

Stellungnahme

Auf dem Gebiet der Übertragung und Verteilung elektrischer Energie sind deutsche Unternehmen weltweit führend.

Bei der Übertragung elektrischer Energie über weite Strecken ist damit zu rechnen, daß künftig neben der HDÜ der HGÜ eine größere Rolle zukommen wird. Ein dem bestehenden HDÜ-Verbundnetz überlagertes HGÜ-Netz könnte zum Lastausgleich beitragen und die Stabilität des Verbundes erhöhen. Im Zuge einer geographischen Ausweitung der Kooperationsbeziehungen in der Energiebereitstellung ist eine Übertragung elektrischer Energie über zunehmende Entfernungen notwendig. Sie eröffnet außerdem Möglichkeiten zur Nutzbarmachung von Tageszeitunterschieden für den Lastausgleich oder von unterschiedlichen klimatischen Bedingungen, wie der höheren Sonneneinstrahlung z.B. in Nordafrika, zur Schwerpunktverlagerung im Einsatz von Primärenergieträgern. Schon beim heutigen Stand der Technik ergeben sich bei Entfernungen ab 500 km Kostenvorteile für die HGÜ gegenüber der HDÜ. Weitere Arbeiten auf dem Gebiet der Leistungshalbleiter, z.B. die Bereitstellung neuer Leistungsbaulemente sowie deren Integration in Leistungsschaltkreise, und die Entwicklung neuer Gerätesysteme mit integrierten leistungselektronischen Elementen (FACTS-Elemente) werden entscheidend zur technischen und wirtschaftlichen Optimierung der Energieübertragung beitragen. Zentrale Forschungsfragen sind daneben eine Erhöhung der dynamischen und der statischen Stabilität ausgedehnter Netze sowie die Sicherung der Spannungsqualität.

Die Verkleinerung der Anlagen und Geräte gehört zu den vordringlichen Zielen der Forschung im Bereich der Hochspannungsübertragung. Einen Beitrag dazu können die Materialwissenschaften mit der Entwicklung von Kunststoffen als Isolatormaterialien für den Freilufteinsatz leisten, die beim Einsatz in Mastkonstruktionen und als Phasenabstandshalter aufgrund ihres geringen Gewichts bei hoher Festigkeit eine kompaktere Anlagenauslegung ermöglichen. Im Mittelpunkt der Forschung auf

diesem Gebiet steht die Untersuchung des Langzeitverhaltens der neuen Verbund-materialien und die Lösung des Problems der Oberflächenerosion durch Teillichtbögen. Sinnvoll erscheint die weitere Anwendung des Isoliergases SF₆ zur Lichtbogenlöschung in Leistungsschaltern; hier besteht anwendungsorientierter Forschungsbedarf. Für gasisolierte, lange Leitungen ist der Ersatz von SF₆ durch Mischgase (Stickstoff mit 10 bis 20 % SF₆) oder durch trockene Luft bei erhöhtem Druck zu untersuchen.

Auf dem Gebiet der Messung ist die Entwicklung von Spannungs- und Stromsensoren mit elektronischer Signalverarbeitung zu forcieren, die zu der besonders in dicht besiedelten Regionen wünschenswerten merklichen Verkleinerung der Schaltanlagen beitragen kann. Im Hinblick auf die Schaltelemente verspricht die Entwicklung von Halbleiterschaltern interessante Alternativen, zumindest für bestimmte Anwendungen, zum derzeit verbreiteten Vakuumschalter.

Wichtig sind im Bereich der Verbindungselemente für die Stromübertragung und -verteilung Arbeiten zur Verbesserung des Teilentladungsverhaltens bei Kunststoffkabeln, aber auch zur Optimierung der Verlegetechniken. Vielversprechend ist das Konzept des Einsatzes von Rohrleitungen mit Mischgasen (Stickstoff, SF₆) anstelle von Kabeln zur Verbindung von Schaltanlagen. Zwar scheint ein gänzlicher Verzicht auf Freileitungen für die Übertragung ausgeschlossen, notwendig sind jedoch eine Effizienzsteigerung vorhandener Trassen und Maßnahmen zur Verbesserung des optischen Erscheinungsbildes, wie z. B. des Einsatzes auch von unterirdischen Verbindungen im Umfeld von Verdichtungsräumen. Langfristig könnte die Nutzung der Supraleitung in Kabeln als widerstandslose Übertragungsform Bedeutung erlangen. Die Entwicklung weiterer Komponenten zum Einsatz der Hochtemperatur-Supraleitung in der Energieversorgung könnte für die Zukunft technisch und wirtschaftlich interessante Lösungen, z. B. für Transformatoren oder Strombegrenzer, bieten.

Ziel weiterer Forschungen und Entwicklungen auf dem Gebiet der Leittechnik ist die Sicherstellung eines zuverlässigen Betriebs von Stromtransport- und -verteilungssystemen an der Kapazitätsgrenze. Einsatzbereit sind digitale Leitsysteme zur raschen und genauen Zustandserfassung und -bewertung von Anlagen und Geräten, deren Leistungsfähigkeit durch eine verstärkte Einbindung von Expertensystemen weiter zu erhöhen ist. Ein weiterer vielversprechender Einsatzbereich für

Expertensysteme ist die intelligente Überwachung von Betriebsmitteln. Vergleichsweise größerer Forschungsanstrengungen im Grundlagenbereich bedarf der Einsatz optoelektronischer Wandler als Komponenten zur Messung von Strömen und Spannungen, bis die erforderlichen Genauigkeitsgrade erreicht sind. Im Hinblick auf die Betriebsführung von Stromübertragungs- und Verteilsystemen besteht methodischer Optimierungsbedarf im Bereich der Kraftwerkseinsatzplanung, der Spannungs-/Blindleistungsregulierung, der Lastführung und der dynamischen Systemsimulation.

Im Rahmen einer deregulierten Energieversorgung mit hoher Leistungsfähigkeit und Effizienz sind im Verteilbereich integrierte Energie- und Kommunikationssysteme sowie interaktive Kommunikationsschnittstellen zum Endkunden zu entwickeln. Um neue Energiedienstleistungen wirtschaftlich nutzen zu können, sind ergänzende Energieautomatisierungssysteme, wie erweiterte Schutzprinzipien, Diagnose- und Netzinformationssysteme sowie Energiemanagementsysteme für den dezentralen Bereich unter Einbeziehung von Strom, Gas, Wärme und Wasser bereitzustellen.

Auf großes gesellschaftliches Interesse stößt die Frage der Elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) von Geräten und Anlagen der Stromübertragung und -verteilung. Neuere Studien ergeben jedoch keine Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen elektromagnetischen Feldern, wie sie in der elektrischen Energieversorgung auftreten, und gesundheitlichen Beeinträchtigungen, so daß eine weitere Verstärkung der Forschungsarbeiten nicht geboten scheint. Dagegen sind weitere Forschungen auf dem Gebiet der EMV von Geräten und Anlagen notwendig, die insbesondere die Prüf- und Meßtechnik vereinfachen und die Beachtung der EMV in die Planung und Entwicklung von Geräten und Anlagen einbringen.

Die Nutzung von Fernwärme zur Raum- und Prozeßwärme sowie Brauchwasserversorgung birgt bedeutende Potentiale zur Primärenergieeinsparung. Die für einen weiteren Ausbau der Fernwärmeversorgung notwendige Kostenoptimierung des Netzausbaus bedarf vornehmlich anwendungsorientierter Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Ziel der weiteren Entwicklungen sollte auf kurze Sicht die Optimierung bestehender Transport-, Verteilungs-, Betriebs- und Planungstechniken im Hinblick auf eine Senkung der Kosten für Neuanlagen und eine Sanierung bestehender Netze sein. Themenfelder für längerfristig angelegte Forschungen liegen in

der Entwicklung neuer Systeme zur Wärmebereitstellung, um vorhandene Potentiale der industriellen Abwärmenutzung zu realisieren. Daneben ist eine weitere Optimierung der Wärmeverteilung vordringlich, wobei neben bautechnischen Verbesserungen der Einsatz neuer Materialien im Rohrleitungsbau Kosteneinsparungen verspricht.

A.V. Energiespeicherung

Ausgangslage

Das Speichern von Energie spielt bei der Energieversorgung eine zentrale und vielfältige Rolle. Dies gilt sowohl für sehr kurzfristige Vorgänge wie die Bereitstellung von Sekundenreserven bei Kraftwerken als auch für das sehr langfristige Speichern mit dem Ziel einer saisonalen Vorrats- oder Reservehaltung.

Besondere Probleme bereitet die Speicherung von elektrischer Energie. Für die direkte und indirekte Speicherung elektrischer Energie werden unterschiedliche Techniken genutzt oder erprobt:

- In Pumpspeicherkraftwerken, die bereits seit über 50 Jahren genutzt werden, wird Überschussenergie aus Kraftwerken durch hydraulische Speicherung in Tageszeiten mit Spitzenverbrauch in elektrische Energie umgewandelt.
- Batteriespeicher werden für fast alle Einsatzbereiche von Speichern elektrischer Energie genutzt; die Anzahl der entwickelten Batteriesysteme ist sehr groß.
- In Superkondensatoren wird eine sehr viel größere Leistungsdichte als in Batterien erreicht. Sie können zur Glättung von Spannungsfluktuationen im Netz und zur kurzfristigen Leistungserhöhung von Kraftfahrzeugen verwendet werden.
- Schwungradspeicher können zum Beispiel bei Fahrzeugen, aber auch in der Fusionsforschung eingesetzt werden; dieses Verfahren ist jedoch noch nicht wesentlich über das Versuchsstadium hinausgekommen.
- Im Feld supraleitender Magnetfeldspeicher läßt sich magnetische Energie in einem so hohen Maße speichern, daß eine technische Nutzung solcher Spulen als Energiespeicher möglich ist. Der kumulierte Energieaufwand für die Herstellung solcher Speicher gilt allerdings als sehr hoch; diese Speichertechnik steht noch am Anfang ihrer Entwicklung.

Einzelne dieser Energiespeichertechniken werden kommerziell eingesetzt. Es läßt sich allerdings auch mit Blick auf eingeführte Technologien feststellen, daß die Speicherung elektrischer Energie für viele Anwendungsbereiche noch nicht befriedigend gelöst ist. Deshalb besteht auch weiterhin ein hoher Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

Die Speicherung von Wärme, vor allem aus Nutzung von Solarenergie oder industrieller Abwärme, dient dem Zweck, die Energie zu anderen als den gelieferten Zeitpunkten zu verwenden. Als längerfristige saisonale Wärmespeicher werden Erdbeckenspeicher, Aquifer- und Erdsondenspeicher sowie thermochemische Speicher (Zeolith/Wasser-Systeme, Schmelzwärmespeicher etc.) eingesetzt. Kurzzeitspeicher wie Latentwärmespeicher, Kältespeicher, Warmwasser-Schichtenspeicher unterstützen Heizungs- und Klimaanlageanlagen. Für industrielle Zwecke stehen Kurzzeit-Hochtemperatur-Wärmespeicher für Anwendungen bis ca. 1200 EC zur Verfügung.

Ähnlich wie bei der elektrischen Energiespeicherung fehlen trotz der hohen ökonomischen und ökologischen Bedeutung sowie einer langjährigen Förderung noch technisch überzeugende und wirtschaftlich zufriedenstellende Lösungen.

Stellungnahme

In Forschung und Entwicklung ist nicht nur der Speicher, sondern das gesamte System mit allen Komponenten zum Laden, Entladen, Steuern, Regeln und Überwachen einzubeziehen.

Die Forschungsaufgaben sollen dem Ziel dienen

- die volumen- und massenspezifischen Leistungs- und Energiedichten zu erhöhen,
- die Speicherverluste beim Laden, während des Speicherns und beim Entladen zu minimieren,
- die zulässigen Leistungsgradienten beim Laden und Entladen zu erhöhen,
- die Zyklenzahl und die Nutzungszeit zu vergrößern,
- die Betriebssicherheit und die Zuverlässigkeit zu steigern,
- die Gefährdungspotentiale zu beseitigen oder zu mindern und vor allem generell
- eine umweltschonende Herstellung, Nutzung und Entsorgung zu erreichen.

Diese Forschungsarbeiten müssen sich sowohl mit den heute schon eingesetzten als auch mit neuen denkbaren Speichersystemen befassen. Die Schwerpunkte der Forschung beim Energiespeichern liegen bei den Systemen, die elektrische Energie direkt oder indirekt speichern, also

- elektrochemischen Speichern,
- elektromechanischen Speichern und
- Speichern für elektrische bzw. magnetische Felder.

Da die einzelnen Speichersysteme von ihren Grundprinzipien her für jeweils bestimmte Einsatzarten besonders geeignet sind, müssen auch hybride Systemtechniken in die Forschung mit einbezogen werden.

Bei den thermischen Speichern sollten sich die Entwicklungsarbeiten vor allem auf weitere Kostensenkungen konzentrieren, z.B. durch verstärkte Standardisierung, durch gleichzeitige Nutzung des Speichervolumens für Wärme und Kälte oder durch Verwendung von Gebäudefundamenten als thermische Speichermasse. Von Interesse ist es auch, weitere Betriebserfahrungen mit Speichern zu sammeln, etwa im Hinblick auf ihre Dynamik, maximale Speicherfähigkeit und Materialeignung.

Durch energieoptimiertes Bauen wird der spezifische Heizenergiebedarf von Gebäuden weiterhin deutlich abnehmen. Dies wird in Zukunft saisonale Wärmespeicher auch im Einfamilienhausbereich technisch ermöglichen. Entsprechende Speichersysteme mit hohen Energiedichten (thermochemische Speicher) sollten z. B. für die Solarenergiespeicherung entwickelt werden. Hohe thermisch aktive Massen im Baubereich erleichtern in vielen Anwendungsfällen die Heizung und Kühlung von Gebäuden. Im Bereich von Latentwärmespeichern z.B. für Wand- und Deckenoberflächen besteht Forschungsbedarf. Die Speicherung von Wärme auf hohem Temperaturniveau - etwa für Solarthermische Kraftwerke - ist ein mittel- bis langfristiges Forschungsziel.

A.VI. Rationelle Energienutzung und Energieanwendungstechnik

Ausgangslage

Rationelle Energienutzung umfaßt alle Maßnahmen zur Gewährleistung einer effizienten und sparsamen Energieverwendung. Der Energieeinsatz wird unter energetischen, ökonomischen, ökologischen und sozialen Aspekten minimiert. Ein effizienter Einsatz von Energie ist - vor allem unter dem Stichwort "Steigerung von Wirkungsgraden" - ein übergreifendes Anliegen der technischen Forschung und Entwicklung und insofern Gegenstand sämtlicher technischer Fachgebiete.

Der einzelne Nutzer von energietechnischen Anlagen hat in der Regel eine subjektive Einschätzung von Wert und Gehalt der verschiedenen Nutzenergieformen. Dies führt häufig zu Fehlannahmen über die in Anspruch genommene Leistung. So wird nicht erkannt, daß Kosten für Wärme wesentlich höher sind als für effektive Leistungen im Bereich Licht und Kraft.

Nutzer sind sich nicht bewußt, daß mit einer Kilowattstunde

- ein Elektrorasierer oder eine Leuchtstofflampe mit einer Lichtausbeute von 65 Watt 85 Stunden betrieben werden kann,
- drei Mittelklasse-Pkw auf die Höhe der Turmspitze der Frauenkirche in München oder 1.600 Bierkisten vom Keller in den dritten Stock eines Hauses gehoben werden können,
- damit aber nur 30 Liter Warmwasser für Duschzwecke von vier bis fünf Minuten bereitet werden können.

Zur Vermeidung unnötigen Verbrauchs muß daher eine Aufklärung der Nutzer beitragen.

Im folgenden werden zentrale Anwendungsbereiche für Rationelle Energienutzung und Energieanwendungstechnik behandelt.⁶⁰⁾

Gebäudebereich

Im Gebäudebereich kommt der rationellen Nutzung der Heizenergie besondere Bedeutung zu; etwa 36 % der Endenergie in Deutschland wurde im Jahr 1996 für Raumheizwärme, 1,8 % für Beleuchtung und 1,3 % für Information und Kommuni-

⁶⁰⁾ Die Gerätetechnik (Hausgeräte, Kleinmotoren etc.) wird nicht näher betrachtet.

kation verbraucht.⁶¹⁾ Auch wenn sich im Gebäudebereich zahlreiche Einzelfragen stellen, die disziplinar bearbeitet werden, ist stets eine ganzheitliche Betrachtungsweise des Energieeinsatzes in Gebäuden erforderlich. Wegen der sehr unterschiedlichen Voraussetzungen bei Neubauten und bei bestehenden Bauten ist mit Blick auf Optimierungsmöglichkeiten allerdings zwischen beiden Bereichen deutlich zu unterscheiden.

Bei Neubauten, die pro Jahr ca. 1 % des Bestandes ausmachen, ist der Heizenergieverbrauch auf Grund der Wärmeschutzverordnung (WSchVO) 1995 auf 180-360 MJ/(m²a) (50-100 kWh/(m²a)), abhängig von der Gebäudeform, beschränkt. Der Bau neuer Häuser bzw. Gebäude führt in der Regel allerdings zu einem zusätzlichen Energieverbrauch und nicht zu einer Einsparung, da der Bestand durch zusätzlich geschaffene Flächen insgesamt zunimmt.

Im Gebäudebestand mit knapp 36 Mio. Wohnungen lag der Heizenergieverbrauch im Jahr 1994 im Mittel bei ca. 650 MJ/(m²a) (180 kWh/(m²a)) gegenüber ca. 1.080 MJ/(m²a) (300 kWh/(m²a)) im Jahr 1977.⁶²⁾ Energetisch verbessert werden derzeit jährlich etwa 100.000 Wohnungseinheiten im Bestand; allerdings betreffen die Maßnahmen meist nur die Installation einer Dämmschicht auf der Fassade und den Ersatz der Fenster durch eine Wärmeschutzverglasung. Hierdurch sinkt der Verbrauch nicht auf die durch die WSchVO 95 vorgeschriebenen Werte. Deshalb wird das mögliche technische Energieeinsparpotential von ca. 70 % bei einer optimierten Bestandssanierung bei weitem nicht ausgeschöpft.⁶³⁾ Die Kosten für eine Reduktion des Heizenergieverbrauchs auf die Werte der WSchVO 95 betragen etwa 30 000 DM/Wohneinheit.⁶⁴⁾ Nur entsprechende Vorschriften (wie bei den

⁶¹⁾ Diese Angaben beziehen die Verbrauchersektoren Haushalt, Industrie und Kleinverbraucher mit ein. Der Verbrauch von Mechanischer Energie (36 % des Endenergieverbrauchs) und von Prozeßwärme betrifft dagegen kaum den Gebäudebereich. Quelle: AG Energiebilanzen, RWE Energie AG, IfE/TU München, FfE München, 1998; vgl. auch Übersichten 9 und 10 im Abschnitt A.I.4.

⁶²⁾ Heinloth, Klaus: Die Energiefrage. Bedarf und Potentiale, Nutzung, Risiken und Kosten, Braunschweig/Wiesbaden 1997, S. 16.

⁶³⁾ Die geringe Zahl der Renovierungen pro Jahr führt im übrigen zu einer (rein rechnerischen) Dauer von 360 Jahren, bis alle Altbauten einbezogen sind.

⁶⁴⁾ D.h. etwa 900-1.000 Mrd. DM für rund 30 Mio. WE in Deutschland.

Neubauten) und/oder staatliche Anreize vermögen den energetischen Sanierungsprozeß gegenüber der heutigen Situation wesentlich zu beschleunigen.

Eine wichtige technische Voraussetzung für eine preisgünstige energieoptimierte Bauweise und eine zügige Sanierung des Baubestandes besteht in der Verfügbarkeit entsprechender Materialien, Komponenten und Systeme. Zu einer ressourcenschonenden Hausenergietechnik zählen neben der verbesserten Dämmtechnik auch die passive und aktive Solarenergienutzung, eine fortschrittliche Beleuchtungstechnik mit optimierter Tageslichtnutzung, eine bedarfsreduzierende Sensorik sowie Lüftungs-, Klimatisierungs- und Gebäudeleittechnik. In allen diesen Bereichen besteht noch erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

Aktuelle Forschungsinitiativen und -schwerpunkte im Bereich Bauphysik und energieoptimierendes Bauen und Sanieren lassen sich mit den Stichworten Energetische Sanierung des Gebäudebestandes, Innovative Fassaden einschließlich solare Architektur, Modellhafte Sanierung einzelner Gebäude, Passivhäuser sowie Niedrigenergie- und Nullheizenergiehäuser, Gebäudetechnik, insbesondere Fenster- und Beleuchtungstechnik, umreißen. Diese Arbeiten werden in Hochschulen und Forschungseinrichtungen oder in Forschungsverbänden betrieben. Ziel eines Verbundprojekts mit rund 40 Projektpartnern ist die Entwicklung von energiesparenden Komponenten und Systemen sowie von Methoden zur Umsetzung bereits vorhandener Energiespartechniken für den Gebäudebestand.

Produktion und Fertigung

Der Anteil der Industrie am Endenergieverbrauch lag im Jahr 1996 bei 24,9 %.⁶⁵⁾ Unabhängig von einzelnen Branchen läßt sich feststellen, daß dem Gesichtspunkt einer rationellen Energienutzung von Prozeßwärme und von mechanischer Energie besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden muß.

Insgesamt erweisen sich die Industriebranchen wie Grundstoffe, Eisen und Stahl sowie Nahrungs- und Genußmittel mit Blick auf eine Anwendung energieeinsparender Verfahren sowohl innerhalb dieser Branchen als auch im Vergleich unterein-

⁶⁵ Vgl. AG Energiebilanzen et al., a.a.O., sowie Übersicht 7.

ander als außerordentlich vielgestaltig.⁶⁶⁾ Vor diesem Hintergrund erfolgt beispielsweise die Förderung des Bundes nicht branchenspezifisch, sondern sie dient primär der Erforschung struktureller Probleme. Schwerpunkte der Forschung in den zurückliegenden Jahren lagen auf

- technisch vergleichbaren, branchenübergreifenden Prozessen, die ähnlichen verfahrenstechnischen Prinzipien folgen (Kreislaufführung von Materialien, Einsatz von Katalysatoren, Zerkleinern etc.)
- Querschnittstechniken oder monofunktionalen Energiewandlern, die in vielen Branchen genutzt werden (z.B. Kälte-, Druckluftherzeugung, Kompressoren).

Sobald technisch innovative Verfahren und Lösungen gefunden werden, haben diese eine erhebliche Breitenwirkung in verschiedenen Sektoren von Produktion und Fertigung. Darüber hinaus lassen sich diese Arbeiten ergänzen um Forschungen an Schnittstellen mit anderen Gebieten wie Materialforschung sowie mit Simulationstechniken und systemanalytischen Arbeiten, die jeweils Beiträge zum rationelleren Energieeinsatz liefern können.

⁶⁶ Vgl. BMBF: 4. Programm Energieforschung und Energietechnologie, Bonn 1997, S. 45-50.

Verkehr

Der Anteil des Verkehrs am Endenergieverbrauch betrug in Deutschland im Jahr 1996 rund 27 % (Straße, Schiene, Luft und Wasser).⁶⁷⁾ Er ist in den achtziger und neunziger Jahren stark expandiert (vgl. Übersicht 7). Dabei werden jährlich ca. 63 Mio. t flüssige Treibstoffe verbrannt, die ganz überwiegend aus Erdöl gewonnen werden (weltweit sind es ca. 1.500 Mio. t).⁶⁸⁾ Die Verbrennung und Handhabung von Treibstoff trägt in zum Teil hohen Maße zur Emission von Kohlendioxid (23 %), Stickoxiden (73 %), Kohlenmonoxid (75 %) und Kohlenwasserstoffen (86 %) bei.⁶⁹⁾ In den einzelnen Verkehrssektoren konnte der Kraftstoff- bzw. Energieverbrauch in den vergangenen Jahren zum Teil deutlich gesenkt werden, so beim einzelnen Kraftfahrzeug um rund 25 % (im Zeitraum von 1981 bis 1995; vgl. Abschnitt A.III.1.1.).⁷⁰⁾ Auch in der Luftfahrt gab es erhebliche Kraftstoffeinsparungen. Bei der Bahn sind sie durch Leichtbauweise und Energierückgewinnung zu erzielen.

Da der weltweit und langfristig weiter zunehmende Verkehr in erheblichem Maße zum Verbrauch fossiler Treibstoffe beiträgt und durch Verbrennungsvorgänge umweltbelastend wirkt, wird es als Aufgabe der Automobilindustrie, aber auch der öffentlich finanzierten Forschung betrachtet, Lösungen für Verbrauchsminderungen zu erarbeiten.

Stellungnahme

Das Bemühen um einen rationellen Energieeinsatz und einen haushälterischen Umgang mit Energie und Umweltressourcen ist nicht neu; es besitzt unter dem Schlagwort "Energiesparen" in der öffentlichen Meinung eine hohe Priorität. Gleichwohl läßt sich feststellen, daß die rationelle Energienutzung als ein primäres Mittel zur Schonung der Ressourcen nicht nur im praktischen Handeln, sondern auch in

⁶⁷⁾ Vgl. AG Energiebilanzen et al.

⁶⁸⁾ Heinloth: Die Energiefrage, a.a.O., S. 170.

⁶⁹⁾ Angaben für Deutschland; nach Heinloth, S. 171. Die Prozentangaben beziehen sich auf den durch Verbrennung und Handhabung von Treibstoffen entstehenden Anteil an der Gesamtmenge der auch durch weitere Ursachen freigesetzten Stoffe.

⁷⁰⁾ BMBF: 4. Programm Energieforschung und Energietechnologie, Bonn 1996, S. 51.

der Forschung vielfach noch im Hintergrund steht. Die Bedeutung der Rationalisierungspotentiale bei der Energieanwendung wird vielfach unterschätzt. Grundlegende und umfassende Untersuchungen wurden bisher noch nicht durchgeführt. Deshalb existieren z.B. bislang Anwendungsbilanzen für den Endenergieeinsatz nur als grobe Abschätzungen.

Ausgangspunkt jeder Energietechnik ist die Nachfrage nach Energiedienstleistungen; dazu zählen Beheizen, Transportieren, Beleuchten, Kommunikation, Umformen etc. und der damit verknüpfte Bedarf an den Nutzenergien Wärme, mechanische Energie und Licht beim Endverbraucher. Dieser Bedarf bestimmt die Nachfrage nach Energieversorgung mit primären und sekundären Energieträgern. Trotz dieser Tatsache werden bei Bemühungen um eine rationellere Energienutzung die Endverbraucher und deren Einfluß auf den Energiebedarf meist vernachlässigt; rationelle Energienutzung setzt vielfach nur bei der Primärenergie, ihrer Gewinnung, ihrer Umwandlung in Endenergie sowie bei der Bereitstellung von Endenergie an.

Dagegen ist zu betonen, daß ein umfassender haushälterischer Umgang mit Energie und Ressourcen ein herausragendes Mittel zu einer umweltschonenden Energietechnik ist. Alle technischen und nichttechnischen Maßnahmen zum Energiehaushalten lassen sich mit den Begriffen "Energiesparen", "Rationeller Energieeinsatz" und "Substitution von Energieträgern, Nutzenergiearten und Energiequellen" umreißen:

- Mit Energiesparen verbinden sich alle Maßnahmen, die mit oder ohne Komfortverzicht bzw. mit oder ohne Einschränkung bei Energiedienstleistungen eine Verbrauchsminderung zur Folge haben. Erreicht werden kann diese Verringerung des Energieverbrauchs durch ein Senken der Qualität, der Quantität und der Vielfalt des Güter- und Dienstleistungsangebots sowie technischer Verbesserungen. Beispiele sind Absenken der Raumtemperaturen, vermindertes Beleuchtungsniveau und eine reduzierte Nutzung von motorisierten Verkehrsmitteln.
- Durch rationelle Energienutzung kann in folgender Weise der spezifische Energieverbrauch gesenkt werden:
 - o Vermeiden unnötigen Verbrauchs,

- o Senken des spezifischen Nutzenergiebedarfs,
 - o Verbesserung der Wirkungs- und Nutzungsgrade sowie
 - o Energierückgewinnung.
- Die Substitution von Energieträgern, Nutzenergiearten und Energiequellen zählt ebenfalls zum Bereich des Energiehaushaltens. Substitution von Brennstoffen untereinander bedeutet in der Regel den Wechsel von festen zu flüssigen und gasförmigen Brennstoffen, was neben einer umweltgünstigeren Energieumsetzung zu besseren Wirkungsgraden führt. Der Wechsel von fossilen Brennstoffen zu regenerativen Energiequellen schont die Ressourcen und mindert Emissionen. Der Wechsel von Nutzenergiearten, so z.B. der Einsatz von mechanischer statt thermischer Energie beim Trocknen senkt den spezifischen Primärenergieverbrauch.

Auf dem Gebiet der rationellen Energienutzung und Energieanwendungstechnik besteht ein Bedarf an weiteren Forschungsaktivitäten sowohl bei Strukturanalysen als auch bei Energie- und Emissionsbilanzen des Endenergieverbrauchs für die verschiedenen Bedarfssektoren. Es ist ein ganzheitliches energetisches und ökologisches Bilanzieren und Kumulieren von Prozeßketten für Produkte und Dienstleistungen anzustreben. Besondere Bedeutung kommt der Erforschung alternativer Fertigungswege zu, mit denen gleiche Produkte und Dienstleistungen umweltschonender, also mit geringerem Ressourcen- und Energieeinsatz hergestellt werden können. Beispiele dafür sind

- Dünnbandgießen,
- osmotische Verfahren zur Stofftrennung,
- Substitution thermischer durch mechanische Energie,
- Einsatz von Enzymen, z.B. zum Färben,
- energieoptimierte Herstellung von Werkstoffen,
- Weiterentwicklung neuer elektrothermischer Verfahren,
- Weiterentwicklung stationärer Antriebssysteme,
- Optimieren stationärer Feuerung für konventionelle und alternative Brennstoffe (Biomasse),
- energieoptimiertes Steuern und Regeln von Produktions-Systemen,
- Leichtbausysteme,

- energieoptimiertes Design.

Energieanwendungstechniken sind konsequent unter Nutzung anderer Basisinnovationen wie z. B. in der Mikroelektronik weiter zu entwickeln, um den spezifischen Energieverbrauch zu reduzieren.

Die Forschung zum energieoptimierenden Bauen sollte künftig noch stärker das Haus als Gesamtsystem betrachten. Bei vielen für sich genommen wertvollen Forschungsansätzen fehlt eine solche interdisziplinäre, alle Teilmaßnahmen in ein umfassendes (Sanierungs-)Konzept integrierende Betrachtungsweise. Zum einen erscheint deshalb eine stärker systembezogene Forschung vor allem im Verbund erforderlich, zum anderen müssen Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung wesentlich breiter und effektiver in Anwendungsbereiche des Bauwesens und der Bauwirtschaft "transferiert" werden. Dies betrifft zahlreiche wissenschaftlich-technische Fortschritte, die in den zurückliegenden Jahren erzielt worden sind, zum Beispiel transparente Wärmedämmsysteme, neuartige opake Dämmsysteme, energiesparende Verglasungen, optimierte solare Kollektorsysteme und regenerative Lüftungssysteme. Diese Innovationen werden in der Baupraxis noch nicht in nennenswertem Umfang genutzt.

Insgesamt sollten die Forschungsarbeiten langfristig dem Ziel dienen, Gebäude erstellen oder sanieren zu können, die den Verbrauch fossiler Brennstoffe für die Wärmeerzeugung und die Klimatisierung weiter reduzieren. Zu diesem Zweck ist eine breite Erfassung von Gebäude- und Anlagensystemen erforderlich, bei denen die Minimierung von Energieverlusten (Lüftungs- und Transmissionswärmeverluste) mit einer Maximierung von solarer Energienutzung sowie weiteren Wärmequellen und -speichern verbunden wird. Begleitend dazu sollten Analyse- und Bewertungsverfahren für die Wirkung von bau- und haustechnischen Einzelmaßnahmen (sowie deren Wechselwirkung) auf das ökologische Verhalten von Gebäuden entwickelt werden. Die operationale Quantifizierung solarer Energiegewinne sollte weiterentwickelt werden; die entsprechenden Daten müssten in Energiestatistiken Aufnahme finden.

In einem wichtigen technisch innovativen Forschungszweig sind Arbeiten angesiedelt, die zu einer innovativen Gebäudefassadentechnik führen. Hierzu zählen hoch-

effiziente Fenster, die es gestatten, die Energieflüsse zwischen Gebäude und Umwelt ohne mechanische Elemente zu regeln (z.B. elektrochrome, katalytische, thermotrope Schalter). Lichtlenksysteme im Fassadenbereich können Tageslicht tief in Gebäude transportieren und so zu angenehmen Beleuchtungssituation führen, gleichzeitig reduziert der verringerte Einsatz von Kunstlicht den Bedarf an Kühlenergie. Zukunftsträchtig vor allem in heißeren Klimata sind auch solarbetriebene Kühlungssysteme, z.B. auf der Basis der Trocknungskühlung. Unter energiepolitischen Gesichtspunkten erscheinen neben der konsequenten und systematischen rationellen Energienutzung bei Neubauten vor allem effiziente und kostengünstige Lösungen für bestehende Bauten notwendig, weil hier massive Einspar-effekte erzielt werden können.

Energiesparendes Bauen hat in der Öffentlichkeit oftmals nicht den gleichen Stellenwert wie andere architektonische Leistungen oder bauliche Annehmlichkeiten. Insofern bedarf es neben einer verstärkten wissenschaftlichen Kooperation von Architekten und Ingenieuren auch einer engeren Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Bauwirtschaft unter Einschluß von Demonstrationsprojekten sowie gezielter Aus- und Weiterbildung. Außerdem erscheint eine sozialwissenschaftliche Forschung notwendig, die zur Verbesserung eines öffentlichen Diskurses zur rationellen Energienutzung bei Neu- und Altbauten beiträgt und Handlungsoptionen und Anreizsysteme dazu aufzeigt.

A.VII. Analyse von Energiesystemen

Ausgangslage

Die vorangehenden Abschnitte befassen sich mit Prozessen und Techniken der Gewinnung von Primärenergieträgern, der Energiewandlung, -speicherung, -verteilung und -anwendung, die jeweils Komponenten von Energieanlagen oder Energiesystemen sind. Deren Verbesserung und Optimierung durch eine systemare Analyse und Abstimmung der verschiedenen Komponenten und Elemente der Gesamtanlagen und Systeme ist das primäre Ziel des hier mit "Analyse von Energiesystemen" bezeichneten Forschungsbereichs.

Viele Fragestellungen der Energieforschung lassen sich nur unter Zuhilfenahme von modellgestützter Systemanalyse und Systemsimulation lösen. Dies gilt gleichermaßen für die technische Auslegung und Optimierung von Anlagen wie für die Bereiche der Betriebsführung energietechnischer Anlagen, der strategischen Unternehmensplanung und der Energiepolitik. Die mathematische Modellierung und Simulation komplexer energietechnischer Prozesse und Systeme ist dabei der zentrale Forschungsansatz, der häufig ein hohes Maß an Interdisziplinarität erfordert.

Die Analyse von Energieanlagen und Energiesystemen erfolgt auf verschiedenen Ebenen. Zunächst dient sie auf der Ebene von Einzelkomponenten von Energieanlagen, wie z.B. dem Kessel oder der Turbine eines Kraftwerkes, der Verbesserung von deren Funktionsweise und Auslegung. Auf einer weiteren Ebene steht bei der Analyse von Energieanlagen - z.B. Kraftwerken - insgesamt das optimale Zusammenwirken der einzelnen Anlagenkomponenten im Vordergrund. Der Einsatz der Methoden der Modellbildung sowie der numerischen Simulation tragen auf diesen Forschungsgebieten z.B. zum besseren Verständnis von Verbrennungsvorgängen, der Strömung in Dampfturbinen sowie des Verhaltens von Kraftwerksanlagen bei. Bei der modellgestützten Analyse von Teilsystemen der Energieversorgung, aber auch des energetischen Gesamtsystems konnten durch die Weiterentwicklung der systemanalytischen Modellierungstechniken bedeutende Fortschritte hinsichtlich Aussagebereich und Belastbarkeit der Aussagen erzielt werden.

Auf einer dritten Ebene werden ganze Energiesysteme betrachtet. Dabei wird das Zusammenwirken verschiedener energietechnischer Anlagen zur Deckung der nachgefragten Nutzenergie nicht nur unter technischen, sondern auch unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten analysiert. Darüber hinaus wird das Energiesystem bezüglich seiner Wechselwirkungen mit und Beeinflussungen durch andere Systeme untersucht; dazu zählen z.B. die Produktionssysteme bestimmter Wirtschaftszweige, das Verkehrssystem, das Wirtschaftssystem oder auch das Umwelt- und Klimasystem.

Mit ihrer Hilfe können Optionen für die künftige Entwicklung des Energiesystems formuliert, Technikfolgen im Sinne einer systematischen, auf wissenschaftlichen Methoden basierenden Technikfolgenabschätzung erforscht und Wege zu einer

umwelt- und klimaverträglichen Energieversorgung der Zukunft aufgezeigt werden. Die Analyse von Energiesystemen ist ein komplexes, disziplinenübergreifendes Forschungsgebiet, dem bei der zukünftigen Ausgestaltung der Energieversorgung in technischer, wirtschaftlicher und ökologischer Sicht eine wichtige Rolle zukommt. Sie liefert Anhaltspunkte und Orientierungshilfen für die Lösung der ökologischen Herausforderungen sowie für die Bewertung energietechnischer Entwicklungsoptionen aus fachübergreifender Sicht. Sie ist damit für die Forschungs- und Entwicklungsplanung ebenso wichtig wie für die unternehmerische und energiepolitische Entscheidungsfindung.

Stellungnahme

Neben experimentellen Analysen und Theorie gewinnt die Simulation und Modellierung von energetischen Prozessen, Anlagen und Systemen eine stetig wachsende Bedeutung sowohl für die Entwicklung, Auslegung und Betriebsführung von energietechnischen Komponenten und Anlagen als auch für die Analyse von Energiesystemen mit dem Ziel der Ableitung von Entscheidungshilfen für die Energiewirtschaft und Energiepolitik.

Auf der Ebene der Energieanlagen sind Simulation und Modellierung zentrale Entwicklungswerkzeuge, um Verbesserungs- und Optimierungspotentiale im Bereich der Energieanlagentechnik kosteneffizient auszuschöpfen und den neuen Anforderungen an die Betriebsführung energietechnischer Anlagen gerecht zu werden.

Grundvoraussetzung für eine sinnvolle Anwendung modellgestützter Analysen ist die detaillierte Erfassung und Bewertung des Ist-Zustandes der Energieanlagen und ihrer Komponenten. Moderne Simulationsmodelle bedürfen meßtechnischer Analysen von hoher Genauigkeit, ausreichendem Detaillierungsgrad und genügender Breite der erfaßten energierelevanten Informationen, um realitätsnahe und anwendungsorientierte Aussagen hervorzubringen. Auf diesem Gebiet besteht noch erheblicher Forschungsbedarf, damit auch im Hinblick auf die umfassende Systemanalyse belastbare Nutzenergiebilanzen der verschiedenen Bereiche des End-

verbrauchs erstellt und die Wirkungsgradketten von der Primärenergiegewinnung bis zur Bereitstellung von Nutzenergie ganzheitlich erfaßt werden können.

Die Notwendigkeit einer möglichst realitätsnahen Modellierung erfordert neben der soliden Erfassung der Datenbasis eine kontinuierliche Weiterentwicklung der Methoden der Modellbildung, der Simulation und Optimierung. Dazu zählen im einzelnen:

- die Entwicklung effizienter numerischer Algorithmen zur Lösung großer Gleichungssysteme und nichtlinearer Optimierungsaufgaben;
- die Bereitstellung robuster, effizienter numerischer Software;
- die Ausnutzung moderner Rechnerarchitekturen (Vektorisierung, Parallelisierung);
- die Entwicklung anwenderfreundlicher Instrumente für die Simulation und Optimierung komplexer Energieanlagen und Energiesysteme und
- die Visualisierung der Ergebnisse.

Bei diesen Aufgaben handelt es sich um Weiterentwicklungen auf dem Gebiet des "Wissenschaftlichen Rechnens", zu denen die Energieforschung wertvolle anwendungsbezogene Beiträge leisten kann. In Deutschland wurden in den zurückliegenden Jahren bedeutende Forschungsanstrengungen auf dem Gebiet der Analyse von Energiesystemen erbracht, so daß die deutsche Forschung derzeit im internationalen Vergleich einen Spitzenplatz einnimmt. Den bestehenden wissenschaftlichen Vorsprung gilt es angesichts der beschriebenen Bedeutung dieses Feldes der Energieforschung und der von ihm ausgehenden Impulse für andere Bereiche der Energieforschung zu wahren und weiter auszubauen.

Entwicklungsbedarf besteht weiterhin z.B. im Hinblick auf die explizite Behandlung von Unsicherheiten, die Modellierung von orts- und raumabhängigen Effekten, die Integration von Wirkungen auf die Umwelt und von marktwirtschaftlichen Allokations- und Entscheidungsprozessen. Darüber hinaus kommt der Aktualisierung und

Fortentwicklung der Datenbasis eine wichtige Rolle zu. Die Grundlage dafür wurde im vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie geförderten IKARUS-Projekt geschaffen, in dem unter Beteiligung zahlreicher universitärer und außeruniversitärer Einrichtungen eine Technologiedatenbank erstellt wurde. Diese gilt es zu erhalten und auszubauen.

Die systematische Zusammenschau von Energie- und anderen technischen Systemen sowie ihrer Einbettung in Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft ist ein relativ junges Forschungsgebiet, dessen analytisches Instrumentarium aus der Kombination und Weiterentwicklung der Methoden verschiedener natur-, ingenieur- und gesellschaftswissenschaftlicher Disziplinen entstand. Der Entwicklung von Modellen, die das Energiesystem als integriertes Teilsystem der gesamten Volkswirtschaft behandeln, kommt auch künftig eine besondere Bedeutung zu. Dieses Gebiet sollte daher an den Hochschulen in ausreichendem Umfang vertreten sein, wobei der fachübergreifende Charakter zu sichern ist.

In methodischer Sicht ist bei der Analyse von Energiesystemen als Teil des Wirtschafts- und Gesellschaftssystems heute noch häufig eine Trennung von naturwissenschaftlich-technischer auf der einen und sozial- und wirtschaftswissenschaftlicher Herangehensweise auf der anderen Seite zu verzeichnen, die der Verflechtung des Energiesystems sowohl mit anderen technischen Systemen als auch mit Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft nicht in ausreichendem Maße Rechnung trägt. Notwendig sind daher eine weitere Verstärkung der disziplinenübergreifenden Zusammenarbeit innerhalb bestehender Einrichtungen wie auch die Stützung von und Schaffung neuer Kooperationsbeziehungen zwischen natur- oder ingenieurwissenschaftlich ausgerichteten Einrichtungen und solchen, die sich unter gesellschaftlichen Gesichtspunkten mit der Analyse von Energiesystemen befassen.

B. Strukturelle Aspekte der Energieforschung

B.I. Institutionelles Gefüge

I.1. Universitäten

Ausgangslage

Forschung und Lehre zu energiewissenschaftlichen Themen werden von zahlreichen Universitäten in Deutschland betrieben. In einer vom Wissenschaftsrat durchgeführten Umfrage haben 46 Universitäten angegeben, daß sie einen oder mehrere Schwerpunkte in der Energieforschung haben. Bei genauerer Betrachtung zeigt sich jedoch, daß der Personaleinsatz für energiewissenschaftliche Themen sehr unterschiedlich ist und an einigen der Universitäten nur wenige Wissenschaftler (in Extremfällen einer) damit befaßt sind. Hochburgen der Energieforschung sind traditionell die technisch ausgerichteten Universitäten und Technischen Hochschulen in Aachen, Dresden, Karlsruhe und Stuttgart. Ausgeprägte Forschungsschwerpunkte mit langer Tradition finden sich außerdem in den Technischen Universitäten Berlin, Braunschweig, Clausthal, Freiberg, Hannover, Magdeburg und München. Daneben haben sich aber auch die Universitäten in Bochum, Cottbus, Dortmund, Duisburg, Hamburg-Harburg, Ilmenau oder Kaiserslautern in diesem Feld etabliert (vgl. Tabellen im Anhang).

Energiewissenschaftliche Schwerpunkte in Forschung und Lehre werden weit überwiegend von Fachbereichen der Elektrotechnik und des Maschinenbaus getragen. Die Zusammenfassung energiewissenschaftlicher Forschung und Lehre in einem eigenen Fachbereich ist dagegen selten realisiert; ein Beispiel dafür ist die Fakultät Energietechnik der Universität Stuttgart, der zehn Institute angehören. Daneben werden energiewissenschaftliche Ansätze in anderen ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen wie Verfahrenstechnik, Chemietechnik, Bergbau und Hüttenwesen sowie Bauwesen und Architektur verfolgt. Auch in den naturwissenschaftlichen Disziplinen Physik, Chemie und Geowissenschaften finden sich, ebenso wie in Ökonomie und Agronomie, vereinzelt Schwerpunkte zu energiewissenschaftlichen

Fragestellungen. Sozial- und geisteswissenschaftliche Fragestellungen sind in der Energieforschung nur selten anzutreffen.

(1) Forschung

Betrachtet man anhand der Tabelle 1a im Anhang die von den Universitäten bearbeiteten Themen, so zeigt sich, daß alle dort aufgeführten 16 Themenbereiche wenigstens an einigen Universitäten bearbeitet werden. Dies unterstreicht die Breite der Forschungsansätze an Universitäten. Die Themenbereiche, die am häufigsten genannt werden, sind Solartechnik, Verbrennungsforschung und die Analyse von Energiesystemen. Geothermie, Kernspaltung und Kernfusion werden dagegen nur von wenigen Universitäten als Forschungsschwerpunkte genannt.

Die bereits erwähnten Universitäten in Aachen, Dresden, Karlsruhe und Stuttgart decken einen großen Teil des Themenspektrums der Energieforschung ab, wofür sie aufgrund des erheblichen Einsatzes von Personal aus Grundausrüstung und Drittmittelförderung eine entsprechende Grundlage haben. Bemerkenswert ist jedoch, daß auch einige Universitäten, die nur 15 - 40 Wissenschaftler für die Energieforschung einsetzen, ebenfalls 9 - 12 verschiedene Themen der Energieforschung benennen. Andere Universitäten mit begrenztem Personaleinsatz konzentrieren diesen dagegen auf ausgewählte Schwerpunkte, so etwa die Universität Heidelberg und die Technische Universität Darmstadt auf Verbrennung und Kraftwerkstechnik.

Bei mehreren Besuchen der Arbeitsgruppe "Energieforschung" wurde deutlich, daß die Vorbereitung auf den Besuch Anlaß für die Universität war, sich erstmals einen Überblick über die auf verschiedene Fachbereiche, Institute und Lehrstühle verstreuten Aktivitäten zu verschaffen. Ähnliche Erfahrungen wurden bei vorangehenden Querschnittsbegutachtungen der Umweltforschung und der Materialforschung gewonnen. Sie zeigen, daß die Organisation von Querschnittsgebieten, die über die disziplinäre Struktur hinausgehen, die Universitäten vor besondere Schwierigkeiten stellt.

Es bestehen aber durchaus Ansätze, die fachbereichsübergreifende Zusammenarbeit zu stärken. Eine wichtige Rolle spielen in diesem Zusammenhang drittmittelgeförderte größere Projekte. Insbesondere sind die von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Sonderforschungsbereiche in Aachen, Hamburg-Harburg, Heidelberg, Karlsruhe, München und Stuttgart sowie die Graduiertenkollegs in Aachen, Dresden und Karlsruhe zu nennen, die im Abschnitt B.II.4. zusammengestellt sind.

Daneben gibt es auch Strukturen, die nicht durch die Klammer einer Drittmittelförderung gestützt werden. So hat etwa die Universität Bochum einen universitätsweiten Arbeitskreis gegründet, der als gemeinsames Diskussionsforum für die mit Energieforschung befaßten Wissenschaftler dient. Ein Arbeitskreis Energieforschung, der neue größere Vorhaben plant, besteht auch an der TU Dresden. Die TH Aachen hat kürzlich im Rahmen ihrer interdisziplinären Foren eine Arbeitsgruppe "Energie" eingerichtet, durch die fachübergreifende Aktivitäten im Bereich der Energieforschung gebündelt und interdisziplinäre Projekte initiiert und durchgeführt werden sollen.

(2) Lehre

Universitäten, die die ingenieurwissenschaftlichen Fächer Maschinenbau und/oder Elektrotechnik anbieten, verfügen in der Regel auch über ein energietechnisches Studienangebot. Die Spezialisierung erfolgt zumeist nach dem Vordiplom. Vertiefungsfächer oder Studienrichtungen der Energietechnik können sowohl im Maschinenwesen (z. B. Energieverfahrenstechnik, Energieanlagenbau, Kraftwerkstechnik, Kerntechnik) als auch in der Elektrotechnik (Elektrische Energietechnik) als eine von jeweils verschiedenen Spezialisierungen gewählt werden.

Es gab in der Vergangenheit genügend Absolventen, die nach Darstellung der besuchten Universitäten je nach Wirtschaftslage zufriedenstellende bis sehr gute Berufsperspektiven hatten. Aufgrund starker Einbrüche bei den Anfängerzahlen während der letzten Jahre bestehen jedoch Zweifel, ob auch künftig ausreichender gut qualifizierter Nachwuchs für Universitäten, Forschungsinstitute und Unterneh-

men ausgebildet wird. Mit dem Rückgang der Studentenzahlen ist zum Teil bereits ein Abbau des wissenschaftlichen Personals an den Universitäten verbunden, der nicht nur die Lehre sondern auch die Forschung beeinträchtigt.

Im Bemühen, ihr Studienangebot zu aktualisieren und dabei auch eine bessere Position im Wettbewerb um Neueinschreibungen zu gewinnen, bieten einige wenige Universitäten seit kurzer Zeit auch grundständige Studiengänge in der Energietechnik an. Diese neuen Angebote zeichnen sich zum Teil dadurch aus, daß sie Lehrinhalte aus Maschinenbau und Elektrotechnik miteinander verbinden und auf diese Weise beide für die Energietechnik wichtigen Gebiete integrieren. Dies gilt für den seit 1996 an der Universität Magdeburg angebotenen Studiengang ebenso wie für denjenigen an der Universität Stuttgart (seit 1998). Ähnliche Studiengänge sind an anderen Universitäten in Vorbereitung.

Neue Wege geht auch die TU Clausthal mit der 1996 erfolgten Einrichtung eines grundständigen Studiengangs Energiesystemtechnik; sie bietet zusätzlich eine Vertiefungsrichtung "Rohstoffe und Energie" im Rahmen des Wirtschaftsingenieurstudiums an, um eine Brücke zwischen Energietechnik und Wirtschaftswissenschaften zu schaffen. Daneben gibt es in naturwissenschaftlichen Fächern wie Physik, Chemie, Geowissenschaften Spezialangebote; Energierecht stellt einen Schwerpunkt an wenigen Universitäten dar.

Einzelne Universitäten bemühen sich um eine stärkere Internationalisierung ihrer Studienangebote und Abschlüsse. So wird an der RWTH Aachen ein Master-Studiengang Elektrische Energietechnik für ausgewählte Studenten geplant, die bereits im Ausland einen Bachelor-Abschluß erworben haben. An der Universität Dortmund ist ein europäischer Master-Studiengang in Vorbereitung.

Stellungnahme

Energiewissenschaftliche Themen gehören zu den ausgewiesenen Schwerpunkten in der Forschung vieler deutscher Universitäten. Vielfältige aktuelle Forschungsthemen werden auf zumeist hohem, dem internationalen Standard entsprechenden wissenschaftlichen Niveau bearbeitet. Gleichwohl sind Optimierungsmöglichkeiten erkennbar, was die Bündelung und Konzentration von Themen sowie die instituts-

und fakultätsübergreifende Abstimmung und gemeinsame Konzeption von leistungsstarken Forschungsschwerpunkten angeht. Der Wissenschaftsrat empfiehlt den Hochschulen, im Kontext der Herausbildung spezifischer Hochschulprofile in stärkerem Maße als dies bisher geschieht, regelmäßig zu überprüfende energiewissenschaftliche Schwerpunkte einzurichten. An anderen Universitäten sollte geprüft werden, inwieweit auf unterkritische Aktivitäten in der Energieforschung zugunsten anderer thematischer Schwerpunkte verzichtet werden kann. Im Rahmen einer solchen Profilierung sollten zudem Entwicklungen in Nachbarhochschulen und darüber hinaus im weiteren Hochschulsystem berücksichtigt werden. So existiert bisher beispielsweise an keiner deutschen Universität ein ausgeprägter Schwerpunkt zur Windenergie, während Einzelthemen dazu verstreut bearbeitet werden. Hier läge insbesondere für eine norddeutsche Universität eine Chance, in Zusammenarbeit mit entsprechenden außeruniversitären Einrichtungen der Region einen leistungsfähigen Schwerpunkt von nationalem und internationalem Rang aufzubauen.

Das Ziel einer besseren Abstimmung und damit Effizienzsteigerung sollte gleichermaßen für die jeweilige hochschulinterne Zusammenarbeit wie für hochschulübergreifende Kooperationen, einschließlich solcher mit außeruniversitären Forschungseinrichtungen, gelten. Innerhalb der Hochschulen sollte eine fächerübergreifende Zusammenarbeit zwischen den einzelnen Teilbereichen der Energieforschung, aber auch mit benachbarten Wissensgebieten (Materialforschung, Informationstechnik, Bauwesen, Chemie, Physik und Ökonomie) stattfinden. Bereits existierende Instrumente wie die Sonderforschungsbereiche mit ihren fakultäts- und disziplinenübergreifenden Strukturen, aber auch interdisziplinäre, in ihrer Zusammensetzung je nach Themenschwerpunkt wechselnde Arbeitsgruppen können einen geeigneten Rahmen hierfür bieten.

In Regionen mit traditionell starker energietechnischer Ausrichtung wird das vorhandene energiewissenschaftliche Forschungspotential bisher nicht im Sinne einer Bündelung und Leistungssteigerung genutzt. So liegt nach Auffassung des Wissenschaftsrates beispielsweise in der Konzentration mehrerer Universitäten in den Großstädten des Ruhrgebiets eine große Chance, die von den betroffenen Hochschulen (Bochum, Dortmund, Duisburg, Essen) im Sinne einer effektiven Zusam-

menarbeit genutzt werden sollte. Über die stärkere Abstimmung der einzelnen Hochschulen untereinander wäre nicht nur eine Bündelung und Konzentration von verstreuten Aktivitäten in Forschung und Lehre zu erreichen, sondern zudem eine spezifische Profilschärfung jeder einzelnen Hochschule im Bereich der Energieforschung. Ähnliche Kooperationsmöglichkeiten bieten sich für die benachbarten niedersächsischen Hochschulen in Braunschweig, Clausthal und Hannover sowie in Sachsen (Dresden, Freiberg, Fachhochschule Zittau) an. Fördermittel der Länder könnten eine solche hochschulübergreifende Schwerpunktbildung unterstützen, in die geeignete außeruniversitäre Einrichtungen einzubeziehen sind. Eine Bündelung von Energieforschungsaktivitäten in verschiedenen bayerischen Universitäten ist durch das Bayerische Zentrum für Angewandte Energieforschung mit Standorten in Erlangen, München und Würzburg gelungen. Regionale Schwerpunktbildungen sollten allerdings nicht an Ländergrenzen stehen bleiben. Dazu sind länderübergreifende Abstimmungen und Koordination nötig, die bisher fehlen.

Orientierungs- und Bewertungsmaßstab bei der Herausbildung besonderer Hochschulprofile muß neben dem nationalen der internationale Qualitätsstandard sein. Die internationale Zusammenarbeit in der Forschung dient der Qualitätssicherung und unterstützt den Prozeß der Profilierung. Dieser muß insbesondere die Entwicklungs- und Zukunftspotentiale der zu entwickelnden Techniken und Systeme berücksichtigen wie auch das Vorhandensein einer dafür ausreichenden Kompetenz in entsprechender Breite. Die Herausforderung, einen wachsenden Energiebedarf zuverlässig, ökonomisch und umweltverträglich zu decken, macht es notwendig, Forschungsarbeiten zu allen erfolgversprechenden Entwicklungsmöglichkeiten jetziger und künftiger Energieversorgungswege durchzuführen. Die Universitäten sind besonders dazu geeignet, eine Vielzahl von Forschungsansätzen zu explorieren. Nur so können die Grundlagen für jetzt und später anstehende energiepolitische Entscheidungen geschaffen werden. Eine Eingrenzung der Optionen bereits im Stadium der Forschung könnte zu nicht vertretbaren Einschränkungen der Handlungsmöglichkeiten unserer und der kommenden Generationen führen.

Energieforschung wird zur Zeit fast ausschließlich als naturwissenschaftlich-technische Forschung betrieben. Das führt vielfach zu einer Verengung der Fragestellungen. Die Integration wirtschafts- und sozialwissenschaftlicher sowie geisteswis-

senschaftlicher Aspekte in die Energieforschung ist an den Universitäten zwar grundsätzlich möglich, sie wird bisher aber kaum realisiert. Diese Ansätze sollten im Sinne einer interdisziplinären Zusammenarbeit stärker als bisher einbezogen werden. Dies ist beispielsweise unerlässlich für Fragen zu Akzeptanz, Technikfolgenabschätzung, Politikberatung und zur optimalen Nutzung von Energie durch die Bevölkerung. Solchen Fragen sollten sich die Universitäten verstärkt widmen.

Den Universitäten kommt im Forschungssystem eine herausragende Rolle zu, da sie Energieforschung mit der Lehre und der Heranbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses verknüpfen und dadurch neueste Erkenntnisse sofort an die nächste Generation weitergeben. Die Lehre bedarf daher als Basis für die künftige Entwicklung aller Bereiche der Energietechnik der gleichen Förderung wie die Forschung; beide Aufgaben haben zentrale Bedeutung für die Rolle der Universität.

Energiewissenschaftliche Themen gehören zum Standardangebot des Lehrprogramms an technisch orientierten Universitäten. In der Regel gibt es gut strukturierte Studienangebote in Maschinenbau und Elektrotechnik, die kontinuierlich weiterentwickelt und den jeweiligen neuen Anforderungen angepasst werden. Die energietechnische Ausbildung in Deutschland hat insgesamt ein hohes Niveau; dies gilt auch im internationalen Vergleich.

Die von einigen Universitäten angebotenen grundständigen Studiengänge in der Energietechnik stellen neben den bestehenden Vertiefungsrichtungen eine vielversprechende Möglichkeit dar, Lehrangebote aus Maschinenbau und Elektrotechnik in anspruchsvoller Weise zu verknüpfen und zu integrieren. Ein solcher grundständiger Studiengang in der Energietechnik sollte allerdings nur von solchen Universitäten konzipiert und angeboten werden, bei denen bereits eine ausgeprägte Schwerpunktbildung in der Energieforschung besteht. Nur bei einem schon bestehenden umfangreichen Angebot von energiebezogener Forschung und entsprechenden Professuren läßt sich ein genügend breites Studium auf hohem Niveau anbieten. Falls das nötige Forschungsumfeld für einen grundständigen Studiengang nicht genügend ausgeprägt ist, sollte man sich statt dessen auf Vertiefungsrichtungen in Maschinenwesen und Elektrotechnik beschränken.

Energetische Fragen sollten im Studium von Architekten und Bauingenieuren einen adäquaten Platz einnehmen. Bei den Ortsbesuchen entstand jedoch der Eindruck, daß die Integration energetischer Fragen in das Architekturstudium an vielen Hochschulen defizitär ist. Mit Blick auf die außerordentlich hohen Energie-sparpotentiale durch energieoptimiertes Bauen (vgl. A.VI.) sind hier integrierte Lehrangebote unerlässlich. Dabei muß die Trennung zwischen Architektur und ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen überwunden werden. Ein gemeinsamer Fachbereich, der Bauingenieurwesen und Architektur zusammenfaßt, kann dafür hilfreich sein. Die fachbereichsübergreifende Konzipierung eines integrierten Studienangebots sollte sich aber ebenfalls realisieren lassen.

Mit der Entwicklung von Studiengängen mit internationaler Ausrichtung besteht eine Chance, Studiengänge mit international kompatiblen Abschlüssen in das Hochschulsystem zu integrieren. Das gilt vor allem für die von deutschen und ausländischen Hochschulen gemeinsam angebotenen internationalen Studiengänge in der Energietechnik. Allerdings erscheint es sinnvoll, die Ziele dieser neuen Studiengänge in der Energieforschung klar zu definieren und sie in ihrer Entwicklung durch eine begleitende Evaluation sorgfältig zu beobachten.

In dem seit einigen Jahren festzustellenden Rückgang an Studierenden in den ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen ist eine Gefährdung auch der energetischen Ausbildung, Forschung und Entwicklung sowie Produktion zu erkennen. In Konsequenz daraus könnte künftig ein Mangel an qualifiziertem Personal im Energiebereich das Lehrangebot beeinträchtigen. Das würde einen Kompetenzverlust sowohl in der Wissenschaft als auch in der Industrie mit sich bringen. In diesem Zusammenhang wird besonders auf die Nachwuchssituation in der Kerntechnik hingewiesen, die allein für die Handhabung bestehender Anlagen und radioaktiver Materialien qualifizierten Nachwuchs benötigt. Die sinkende Zahl der Absolventen stellt die Universitäten vor eine besondere Herausforderung und erfordert einen intensiven Austausch über Ausbildungsinhalte und Ausbildungsziele. Außerdem sollte gemeinsam nach Wegen gesucht werden, die Attraktivität ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge zu erhöhen und dafür zu werben.

B.I.2. Fachhochschulen

Ausgangslage

Die Fachhochschulen bieten ein umfangreiches Studienangebot im Bereich der Energietechnik an. Gegenwärtig verfügen 14 Fachhochschulen über einen oder mehrere grundständige Studiengänge der Energietechnik, wie Übersicht 14 zeigt. Die Elektrische Energietechnik ist achtmal vertreten, die Energietechnik zweimal. Die übrigen Studiengänge mit energietechnischem Bezug (wie u.a. Energie- und Umweltschutztechnik) sind je einmal vertreten. Darüber hinaus werden auch in anderen Studiengängen im Ingenieurbereich energietechnische Lehrinhalte angeboten, wozu vor allem Elektrotechnik und Maschinenbau, aber auch Bauwesen und Architektur gehören. Das 1996 noch umfangreichere Angebot an grundständigen Studiengängen im Bereich der Energietechnik hat nach den Zusammenstellungen der Hochschulrektorenkonferenz (HRK) zwischenzeitlich abgenommen, was auf

ausgelaufene Studiengänge, aber auch auf veränderte Zuordnungen und Umbenennungen zurückzuführen ist.¹⁾

Übersicht 14:

Grundständige Studiengänge zur Energietechnik an Fachhochschulen

Fachhochschulen	Studiengang					
	Elektr. Energie- u. Automatisie- rungstechnik	Elektrische Energie- technik	Energie- und Umwelt- schutztech- nik	Energie- und Verfahrens- technik	Energie- und Wärmetechnik	Energie- technik
TFH Berlin		x				
TFH Bochum		x ¹⁾				
FHT Esslingen		x				
FH Flensburg		x				
FH Hannover						x
FH Gießen-Friedberg					x	
Märkische FH Iserlohn		x				
FH Karlsruhe		x				
FH Konstanz	x					
FH Leipzig						x
FH Magdeburg		x				
FHTG Mannheim		x				
FH Saarbrücken				x		
FH Zittau/Görlitz			x			

1) auch berufsbegleitendes Grundstudium

Quelle: Hochschulrektorenkonferenz (HRK): Studienangebote deutscher Hochschulen, Ausgabe 3 (WS 1998/99).

Zahlreiche Fachhochschulen sind auch in angewandter Forschung und Entwicklung tätig. Nach der Umfrage des Wissenschaftsrates befassen sich rund 50 Fachhochschulen mit Energieforschung. Dabei wird insgesamt ein breites Spektrum an Themen bearbeitet, das jedoch ausgeprägte Häufungen bei bestimmten Gebieten aufweist, wie Tabelle 1b im Anhang zeigt. Etwa 70 % der mit Energiethematik befaßten Fachhochschulen widmen sich der Solartechnik. Ausgeprägte Aktivitäten finden sich auch bei Energieanwendungstechnik, Analyse von Energie-

¹⁾ 1996 waren es nach der Zusammenstellung der Hochschulrektorenkonferenz noch 25 Fachhochschulen, die über einen oder mehrere grundständige Studiengänge der

systemen und Windenergie, bei Energietransport und -verteilung sowie bei energieoptimierendem Bauen und Verbrennungsforschung.

Die von den Fachhochschulen angegebenen Schwerpunkte werden häufig nur durch einen oder zwei Wissenschaftler bearbeitet; gelegentlich nur durch technisches Personal bei zeitlich eng begrenzter Betreuung durch Professoren. Personalintensive Schwerpunktbildungen sind seltene Ausnahmen (vgl. Tabelle 1b).

Mit Blick auf die hohe Zahl der mit Energieforschung und -entwicklung befaßten Wissenschaftler nehmen die HTW Zittau-Görlitz und die FH Aachen eine Sonderstellung ein (Tabelle 2b). Dies schlägt sich auch in bemerkenswert hohen Drittmittelsummen von 2,3 und 4,2 Mio. DM nieder. Durch hohe Drittmittelinwerbung zeichnen sich auch zwei weitere sächsische Hochschulen für Technik und Wirtschaft in Mittweida (1,5 Mio. DM) und Dresden (1,4 Mio. DM) sowie die FH Stralsund (1 Mio. DM) aus.

Stellungnahme

Fachhochschulen bilden einen erheblichen Teil der Ingenieure aus. Dies gilt auch für die Energietechnik und verwandte Fächer, die als grundständige Studiengänge, als Vertiefungsrichtungen in Maschinenbau und Elektrotechnik und als Kombinationsstudiengänge wie Energie- und Umwelttechnik angeboten werden. Die Fachhochschulen leisten damit einen in Breite und Vielfalt bemerkenswerten Beitrag zur Ausbildung für energiebezogene Tätigkeitsfelder vornehmlich in der Wirtschaft. Die Absolventen profitieren vom ausgeprägten Praxisbezug und den in der Regel klar strukturierten Studiengängen der Fachhochschulen. Neben der Lehre als ihrer Hauptaufgabe bearbeiten Fachhochschulen in erfreulichem Umfang Projekte der angewandten Forschung und Entwicklung in der Energietechnik. Dies verdient besondere Anerkennung, weil sie solche Aktivitäten in der Regel ohne eine sächsische und personelle Grundausstattung durchführen und in Einzelfällen bemerkenswert hohe Drittmittel einwerben. Die bearbeiteten Themen lassen erkennen, daß

Energietechnik verfügten. Die Elektrische Energietechnik war 17mal vertreten, die

bevorzugt Fragestellungen aus der Praxis aufgegriffen werden. Diese weisen häufig einen Bezug zu kleineren und mittleren Unternehmen auf; die Industrie ist auch der meistgenannte Drittmittelgeber. Daneben fördern die Länder, der Bund und die EU, während Mittel der Deutschen Forschungsgemeinschaft nur von zwei Fachhochschulen angegeben werden. Das speziell für die Fachhochschulen aufgelegte Förderprogramm des BMBF "Anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung an Fachhochschulen" trägt ebenfalls zur Verbesserung der Forschungsmöglichkeiten bei.

Die infolge der Schwerpunktsetzung in der Lehre begrenzten Ressourcen von Fachhochschulen für Forschung und Entwicklung erfordern im besonderen Maße die Aktivitäten zu bündeln. Der Wissenschaftsrat erinnert in diesem Zusammenhang an seine Empfehlungen zur Bildung zentraler Einrichtungen für angewandte Forschung und Entwicklung. Diese erlauben, wenn sie mit geeigneten Anreizstrukturen verknüpft sind, eine Konzentration der angewandten Forschung über die Interessen einzelner Hochschullehrer hinaus.

I.3. Außeruniversitäre Einrichtungen

Ausgangslage

Energieforschung wird von zahlreichen außeruniversitären Einrichtungen in unterschiedlichem Umfang betrieben. Je nach Aufgabenspektrum und Größe der Einrichtung variieren die schwerpunktmäßig bearbeiteten Themen. Für die Einrichtungen werden in der Regel spezielle Themen ausgewählt, die an Universitäten nicht in diesem Umfang oder dieser Ausrichtung behandelt werden können. Größtenteils werden von den außeruniversitären Einrichtungen naturwissenschaftlich-technische Fragestellungen verfolgt. Die Arbeitsschwerpunkte konzentrieren sich insbesondere auf Kernfusion, Kernspaltung, Energieanwendungstechnik, Analyse von Energiesystemen sowie Solartechnik. Außerdem beschäftigt man sich mit nahezu allen Energiewandlungstechniken (inklusive Brennstoffzellen, Wasserstoff-

technik) sowie mit Energiespeichern, energieoptimierendem Bauen und Energietransport und -verteilung.

Unter den außeruniversitären Forschungseinrichtungen nehmen die Forschungszentren der Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft in der Energieforschung eine zentrale Rolle bei der Bearbeitung komplexer Fragestellungen in Grundlagen- und Vorsorgeforschung und bei Querschnittsaufgaben ein. Nach thematischen Umorientierungen der ursprünglich auf Kernenergie ausgerichteten Großforschungseinrichtungen gehört Energieforschung vielfach auch heute zu den Forschungsschwerpunkten dieser Helmholtz-Zentren - vor allem Forschungszentrum Jülich, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Forschungszentrum Karlsruhe. Das von der Max-Planck-Gesellschaft getragene und auch der Helmholtz-Gemeinschaft angehörende Max-Planck-Institut für Plasmaphysik in Garching widmet sich ausschließlich der Fusionsforschung. Die durch Bund und jeweiliges Sitzland im Verhältnis 90:10 geförderten 16 Helmholtz-Zentren verfügen über eine anspruchsvolle wissenschaftlich-technische Infrastruktur einschließlich wissenschaftlicher und technischer Großgeräte. Damit wird eine breite Palette energiewissenschaftlicher Forschungsthemen verfolgt, die schwerpunktmäßig im Bereich von Kernfusion, Kraftwerkstechnik, Photovoltaik, Solarthermie, Brennstoffzellen sowie nuklearer Sicherheitsforschung liegen. Ferner werden Systemlösungen, u.a. zu Themen der umweltfreundlichen, sicheren Energieversorgung, entwickelt.

Einen ausgeprägten Schwerpunkt in der Energieforschung besitzen nur wenige der insgesamt 47 Institute der Fraunhofer-Gesellschaft. Dazu zählt das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme in Freiburg, das sich vollständig der Energieforschung widmet. Schwerpunkte der energiewissenschaftlichen Forschungsarbeiten mit großer Anwendungsrelevanz liegen in den Gebieten Solartechnik (Solarthermie, Photovoltaik) und energieoptimiertes Bauen. Hinzu kommen Arbeiten im Bereich der Brennstoffzellen, Wasserstofftechnik und Energiespeicher. Außerdem werden Analysen im Grenzbereich zwischen Technik, Wirtschaft und Gesellschaft vorgenommen. Die stark industrie- und anwendungsorientierten Institute müssen sich wegen ihrer knappen, öffentlich finanzierten Grundausstattung überwiegend durch Forschung im Auftrag für die Wirtschaft, den Bund, die Länder und die Europäische Union finanzieren.

Die Institute der Max-Planck-Gesellschaft betreiben mit Ausnahme des in die Darstellung der Helmholtz-Zentren einbezogenen Instituts für Plasmaphysik nur in geringem Umfang Energieforschung. Energiewissenschaftliche Arbeiten werden zu Solartechnik, Brennstoffzellen, Wasserstofftechnik und zu Energiespeichern durchgeführt, ohne daß dies einen umfangreichen Schwerpunkt an einem der 80 von der Max-Planck-Gesellschaft betriebenen Institute darstellt. Die Institute werden hälftig durch Mittel des Bundes und der Länder gefördert und betreiben erkenntnis- und anwendungsorientierte Grundlagenforschung.

Die an Energieforschung beteiligten Institute der Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibniz arbeiten schwerpunktmäßig in den Bereichen Solartechnik, Windenergie sowie Sicherheitsforschung von kerntechnischen Anlagen. Darüber hinaus werden Analysen zu energiewirtschaftlichen Entwicklungen sowie technologiepolitische Untersuchungen durchgeführt. Aufgrund ihrer überregionalen Bedeutung und des gesamtstaatlichen Interesses werden die Einrichtungen gemeinschaftlich von Bund und Ländern als selbständige Forschungseinrichtungen oder Einrichtungen mit Servicefunktion für die Forschung gefördert.³⁾

Darüber hinaus gibt es weitere, meist kleinere Einrichtungen, die überwiegend eine Basisfinanzierung durch die Länder erhalten, zum Teil aber auch ohne öffentliche Grundfinanzierung arbeiten und sich primär über Forschungsprojekte und -aufträge von Industrie und öffentlicher Hand finanzieren. Diese Einrichtungen befassen sich insgesamt mit fast dem gesamten Spektrum energiewissenschaftlicher Fragestellungen (außer Kernfusion und -spaltung). Im Vordergrund stehen Energieanwendungstechnik, regenerative Energien (Solarthermie, Biomasse), Energietransport und -verteilung sowie Analysen von Energiesystemen. Gesellschaftspolitische Aspekte der Energieforschung (Technikfolgenabschätzung) und wissenschaftliche Politikberatung werden darüber hinaus verfolgt.

Die in der Energieforschung tätigen außeruniversitären Einrichtungen verfügen überwiegend über umfangreiche Kontakte zu anderen Forschungseinrichtungen

und vielfach auch zu Industrieunternehmen. Mit Universitäten kooperieren sie häufig auf der Grundlage gemeinsamer Berufungen.

Stellungnahme

Energieforschung wird von außeruniversitären Einrichtungen meist in definierten Schwerpunkten betrieben. Die Einrichtungen besitzen größtenteils ein klar formuliertes Forschungsprogramm, nur gelegentlich ist eine stärkere Konturierung des Forschungsprofils nötig. Große Einrichtungen, die teilweise weit über 100 Mitarbeiter in der Energieforschung beschäftigen, nehmen mit ihren Schwerpunkten wichtige Forschungsaufgaben im Bereich der staatlichen Vorsorge wahr, während die kleineren Einrichtungen meist ausgeprägte Schwerpunkte in der Anwendungstechnik einschließlich der regenerativen Energien aufweisen.

Durch die vor allem für Helmholtz-Zentren und Leibniz-Institute geltende überwiegend enge Vernetzung mit Universitäten erhalten die Forschungsarbeiten Impulse durch die an den Hochschulen betriebene Grundlagenforschung. Umgekehrt erleichtert eine intensive Kooperation den Hochschulen den Zugang zu der anspruchsvollen apparativen Ausstattung der Helmholtz-Zentren und Leibniz-Institute. Die außeruniversitären Einrichtungen tragen durch enge personelle Verflechtung auch zur Lehre an den Hochschulen bei. Hinzu kommt die Beteiligung an Sonderforschungsbereichen und Graduiertenkollegs (vgl. Abschnitt B.I.5. Forschungsverbünde). Es werden insgesamt erhebliche Beiträge zur Ausbildung von Diplomanden und Doktoranden geleistet. Die Verbindungen, die mit den Universitäten bestehen, sollten nach Ansicht des Wissenschaftsrates weiter gestärkt werden. Dies gilt insbesondere für einige der kleineren außeruniversitären Einrichtungen, die zum Teil örtlich von Hochschulen isoliert sind.

Die Helmholtz-Zentren besitzen überwiegend in sich geschlossene energiewissenschaftliche Forschungsprofile und sind primär auf großforschungsspezifische

³⁾ Wissenschaftsrat: Empfehlungen zur Neuordnung der Blauen Liste, in: Empfehlungen und Stellungnahmen 1993, Köln 1994, S. 453 ff.

Projekte ausgerichtet. Einzelne Projekte, die ebensogut von Hochschulen durchgeführt werden könnten, sollten allerdings überdacht werden.

Die Helmholtz-Zentren unternehmen begrüßenswerte Anstrengungen, ihre Aktivitäten auch zentrenübergreifend zu bündeln und abzustimmen. Dies geschieht zum Beispiel bei der Kernfusion. Daneben sind Helmholtz-Zentren auch in über die Gemeinschaft hinausgehende Verbünde wie AG Solar, TECFLAM, AG Turbo (vgl. Abschnitt B.I.5. Forschungsverbünde) sowie in einschlägige BMBF- und EU-Projekte eingebunden. Es wäre jedoch wünschenswert, wenn die von der Helmholtz-Gemeinschaft betriebene Energieforschung insgesamt gebündelt würde, damit auch übergreifende Thematiken angemessen zusammengeführt und nicht zuletzt nach außen adäquat dargestellt werden können. Der kürzlich eingerichtete und aus der Grundfinanzierung der Helmholtz-Zentren aufgebaute "Strategiefonds" dient der Stärkung des Wettbewerbs zwischen den Einrichtungen, sollte aber auch zur Förderung übergreifender Schwerpunkte in der Energieforschung verwendet werden. Abzuwarten bleibt allerdings, inwieweit mit diesem Instrumentarium die beabsichtigte Zielsetzung erreicht werden kann. Die Helmholtz-Zentren nehmen ferner bei internationalen Projekten vielfach wichtige Koordinierungsaufgaben wahr, wie z.B. im Europäischen Fusionsprogramm.

Die insbesondere von den Forschungszentren Karlsruhe und Jülich durchgeführten Arbeiten im Bereich der Sicherheitsforschung für kerntechnische Anlagen sind notwendig, um in Deutschland die Kompetenz im kerntechnischen Bereich zu erhalten. Sie sollten auch weiterhin ausreichend gefördert werden. Dabei muß auch Raum für Forschungsarbeiten zu innovativen Reaktoren sowie neuartigen Entsorgungstechniken bestehen. Es muß ferner Know-how im Zusammenwirken mit Universitäten erhalten werden, das z.B. für den sicheren Betrieb der kerntechnischen Anlagen in Deutschland und auch in Mittel- und Osteuropa sowie für die Entsorgung von nuklearem Material unerläßlich ist (vgl. Abschnitt A.III.2.1. Kernspaltung).

Aufgrund der langfristigen Anlage der Fusionsforschung ist es erforderlich, daß von staatlicher Seite ein verläßlicher Finanzrahmen gesichert ist. Dies muß in enger internationaler Absprache und Kooperationen geschehen, die aktiv gefördert werden müssen.

Die durchgeführten sozialwissenschaftlichen Analysen im Grenzbereich zwischen Technik, Wirtschaft und Gesellschaft besitzen eine wichtige energiepolitische Bedeutung. Dabei sollte nach Ansicht des Wissenschaftsrates die methodische Fundierung der interdisziplinären Forschungsarbeiten einschließlich einer detaillierteren Datenerhebung angestrebt werden. Studien zu gesamtgesellschaftlichen Auswirkungen technischer Entwicklungen (Technikfolgenabschätzung) können zur Akzeptanzsteigerung und zu einer fundierten Politikberatung beitragen. In vermehrter Kooperation mit universitärer sozialwissenschaftlicher Forschung und unter stärkerer Einbeziehung der Ingenieurwissenschaften sollte das diskursive Instrumentarium ergänzt werden. Energiewissenschaftliche Einrichtungen, die eine Mittlerposition zwischen Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Öffentlichkeit einnehmen (z.B. Wuppertal Institut, Akademie für Technikfolgenabschätzung und Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung), sollten verstärkt die bisher unzureichende Anbindung an einschlägige universitäre und außeruniversitäre Forschung vorantreiben.

Die meist zahlreichen Kooperationen der außeruniversitären energiewissenschaftlichen Einrichtungen mit Industrieunternehmen sind zu begrüßen, da sie zu einer praxisorientierten Ausrichtung der Forschung sowie zur beschleunigten Umsetzung wissenschaftlicher Erkenntnisse beitragen. Ausgründungen von Unternehmen, wie sie z.B. vom Forschungszentrum Jülich und vom Hahn-Meitner-Institut in der Energietechnik bereits unterstützt werden, sollten insgesamt weiter forciert werden.

Für einige der außeruniversitären energiewissenschaftlichen Institute besteht die Notwendigkeit einen Großteil der jährlich erforderlichen Mittel im Rahmen von Forschungsprojekten und -aufträgen von Industrie und öffentlicher Hand einzuwerben. Dies ist z.B. bei Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft vorgesehen. Dadurch besteht eine große Abhängigkeit von kurzfristigen Interessen externer Auftraggeber. Eine ausreichende Basisförderung bzw. Grundfinanzierung ist zur Durchführung von nicht projektgebundenen Grundlagenarbeiten und damit zum Erhalt der Leistungsfähigkeit der Einrichtungen nötig.

I.4. Energieforschung in Unternehmen

Die von Industrieunternehmen durchgeführten Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in der Energieforschung umfassen vor allem die Bereiche Anlagen- und Komponentenherstellung einschließlich Motoren, Energieanwendungstechnik und Energieversorgung. Die Arbeiten orientieren sich überwiegend an wirtschaftlichen Zielen und Erfolgen. Im Vordergrund stehen die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und der Umweltverträglichkeit, die Erhöhung von Sicherheit und Zuverlässigkeit des Betriebs energietechnischer Anlagen, die Sicherung des Absatzes sowie die Anpassung an veränderte energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen. Forschung, Entwicklung und Produktfertigung verlaufen in der Regel als integrierter Prozeß.

Aktivitäten im Bereich grundlagenorientierter Forschungsarbeiten werden in erster Linie von Universitäten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen durchgeführt. Die Industrie beteiligt sich an der Konzeption und Durchführung von gemeinsamen Forschungsprojekten im Rahmen öffentlich geförderter Verbundprogramme, insbesondere des BMBF und der EU. Daneben werden Kooperationsmöglichkeiten in vielen Bereichen auf individueller Basis gesucht.

Ein Schwerpunkt der von der anlagenbauenden Industrie betriebenen Arbeiten in der Energieforschung liegt im Bereich der Kraftwerkstechnik, in dem deutsche Hersteller eine international führende Stellung einnehmen. Im Mittelpunkt der heutigen Kraftwerks- und Feuerungstechnik steht die Verbrennung fossiler Energieträger sowie die Entwicklung der erforderlichen Komponenten und Prozesse. Da man davon ausgeht, daß fossile Energieträger mittelfristig in ausreichendem Maße zu vergleichsweise niedrigen Kosten verfügbar sein werden (vgl. Kapitel A.I.5), wird die derzeitige Kraftwerkstechnik intensiv weiterentwickelt. Der Anteil der Aufwendungen für Forschung und Entwicklung liegt in den meisten anlagenbauenden Unternehmen bei etwa 5 bis 7 % des Umsatzes.

Im Kraftwerksbau ist aus der Sicht der Industrieunternehmen ein hoher Stand der Technik erreicht. Um diesen Stand zu halten, sind Forschung und Entwicklung von entscheidender Bedeutung. Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Gas- und Dampfturbinen sind darauf ausgerichtet, zur Steigerung der Wirkungsgrade die

Turbinen-Eintrittstemperatur zu erhöhen. In Dampfkraftwerken ist für den Einsatz von Dampftemperaturen über 700 EC die Entwicklung spezieller Werkstoffe eine wesentliche Voraussetzung. Für GuD-Kraftwerke müssen zur Erhöhung der Gasturbinen-Eintrittstemperatur Werkstoffe für Temperaturen über 1.500 EC sowie effektive Kühlprinzipien für die hochbelasteten Gasturbinenteile entwickelt werden.

Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Kraftwerkstechnik sind von unmittelbarer Bedeutung für die umweltrelevanten Zielsetzungen einer Minderung der CO₂-Emissionen und der Ressourcenschonung. Sie haben zugleich für die Herstellerfirmen wirtschaftliche Auswirkungen (daher werden marktnahe Forschungs- und Entwicklungsziele aus Wettbewerbsgründen nicht offengelegt). Eine Steigerung des Wirkungsgrades eines 525 MW Steinkohlekraftwerks von 45 auf 46 % bewirkt jährlich eine Verringerung des CO₂-Ausstoßes um 42.000 t, eine Brennstoffersparnis von 17.000 t SKE⁵⁾ sowie eine Brennstoffkostensparnis von 1,32 Mio. DM. Bei einem Gas- und Dampfkraftwerk werden durch eine Steigerung des Wirkungsgrades von 59 auf 60 % etwa 10.000 t CO₂ im Jahr weniger emittiert (vgl. Übersicht 15).

⁵⁾ Vgl. Tabelle 4 im Anhang.

Übersicht 15

Auswirkung der Erhöhung des Wirkungsgrades in Kraftwerken
auf Emission, Emissionsminderung sowie Kosten- und Brennstoffersparnis

	Steinkohlekraftwerk (525 MW)		Gas- und Dampfkraftwerk (348 MW)	
Auslegungs- Wirkungsgrad in %	45	46	59	60
Emissionen Mio.t CO ₂ /a	1.928	1.886	676	666
CO ₂ -Ersparnis Tsd.t CO ₂ /a	42		10	
Brennstoffersparnis pro Jahr	16.600 t/a		5.530.000 m ₃ /a	
Kostensparnis in Mio. DM/a	1,32		1,21	

Quelle: Siemens KWU

Neben der Kraftwerkstechnik, die sich auf fossile Energieträger stützt, beteiligen sich deutsche Unternehmen auch an der Entwicklung neuer Reaktorkonzepte für die Nutzung nuklearer Energie. Hier sind insbesondere die Entwicklung des europäischen Druckwasser-Reaktors EPR und des Siedewasserreaktors (SWR-1000) zu nennen (vgl. Abschnitt A.III.2.1.). Die Abstimmung der Forschungsthemen zwischen Industrieunternehmen und Forschungseinrichtungen sowie die Förderung der Arbeiten erfolgt im Rahmen von Kooperationsvereinbarungen auf nationaler und europäischer Ebene. Bei den in Betrieb befindlichen Kernreaktoren wird der Sicherheitsstand entsprechend dem Stand der Technik angepaßt.

Deutsche Firmen verfolgen auch die Nutzung regenerativer Energiequellen und betreiben Forschung und Entwicklung in den Bereichen Wasserkraftgeneratoren, Biomasse-Heizkraftwerke und -heizwerke, Windkraftanlagen, Photovoltaik und Brennstoffzellen. Die Entwicklungsarbeiten bei regenerativen Energiesystemen werden zumeist in Abstimmung und Zusammenarbeit mit Hochschulen und Forschungseinrichtungen durchgeführt. Sie zielen darauf ab, bekannte Technologien zu optimieren und durch eine Senkung der spezifischen Investitionskosten marktfähig zu machen. Die Entwicklung von Brennstoffzellensystemen hat einen mög-

lichst flexiblen Einsatz zum Ziel. Bei der Steigerung der Leistungsfähigkeit aller Komponenten steht die kostengünstige Massenfertigung im Vordergrund.

Die Gesamtaufwendungen für Forschung und Entwicklung der im Wirtschaftssektor Energie- und Wasserversorgung tätigen Unternehmen (ohne anlagenherstellende Industrie) betragen nach einer Erhebung des Stifterverbandes im Jahr 1995 ca. 317 Mio. DM.⁶⁾ Der Schwerpunkt der Aktivitäten der Energieversorgungsunternehmen (EVU) liegt im Bereich der Demonstration neuer Technologien. Das Engagement der EVU beginnt in der Regel mit der Realisierung neuer Entwicklungen im Rahmen von Pilotanlagen und setzt sich fort mit der Weiterentwicklung hin zu größeren Demonstrationsanlagen sowie der Markteinführung von neuen und mittelfristig erfolgversprechenden Technologien. Besondere Bedeutung kommt der Zusammenarbeit mit den Herstellerunternehmen zu; aus dem Anlagenbetrieb fließen Betriebserfahrungen in die Entwicklungsabteilungen der Herstellerindustrie zurück. Daneben beteiligen sich die Energieversorgungsunternehmen über die Gemeinschaftsforschung auch direkt an Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Bundesweit tätige Einrichtungen sind die Forschungsstiftung der VGB Technische Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber, Essen, und die Forschungsgemeinschaft für Hochspannungs- und Hochstromtechnik (FGH), Mannheim. Darüber hinaus beteiligen sich eine Reihe von EVU an regionalen Stiftungen oder Einrichtungen der Gemeinschaftsforschung. Wichtige Kooperationspartner sind zudem Universitäten und außeruniversitäre Forschungsinstitute.

Nach einer Umfrage des Verbandes der Deutschen Elektrizitätswirtschaft beliefen sich die Aufwendungen der deutschen EVU im Rahmen von Projekten im Jahr

⁶⁾ Wissenschaftsstatistik GmbH im Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft (Hrsg): Forschung und Entwicklung in der Wirtschaft 1995 bis 1997, S. 6* u. S. 31* (Tabellen 4 u. 21).

1995 auf rund 205 Mio. DM. Davon entfielen die größten Anteile auf die Kraftwerkstechnik (76 Mio. DM) sowie Neue Energiesysteme und Wasserkraft (69 Mio. DM), dann folgen Elektrizitätsanwendung (30 Mio. DM) sowie Elektrizitätsübertragung und -verteilung (10 Mio. DM), die übrigen Aufwendungen beliefen sich auf 20 Mio. DM.⁶⁾

Ein Großteil der Entwicklungsaktivitäten der anlagen- und komponentenherstellenden Firmen betrifft Produkte, Systeme und Prozesse auf dem Gebiet der Energieanwendungstechnik. Die gesamte Anlagentechnik in Kraftwerksbau und Energieversorgung stellt erhebliche Anforderungen an Wartung, Leitung, Betriebstechnik und Instandhaltung. Umfangreiche Investitionen erfordert der Bereich der Energieverteilung und -übertragung, in dem die deutsche Industrie weltweit führend ist. Auch auf das Gebiet der motorischen Verbrennung sowie alternativer Antriebe (Brennstoffzellen) entfallen erhebliche Forschungsaufwendungen.

Neben der Energieversorgung kommt dem Bereich des Endenergieverbrauchs große Bedeutung zu. Hierzu gehört beispielsweise die Herstellung von Öfen und Heizungssystemen sowie von Haushaltsgeräten. Auf diesem Sektor sind überwiegend kleine und mittlere Unternehmen tätig. Ihre FuE-Aktivitäten liegen weitgehend im produktnahen, wettbewerbswirksamen Bereich. Ein Beispiel ist die Weiterentwicklung der Hausgerätetechnik, durch die der Endenergieverbrauch heutiger Haushaltsgeräte gegenüber früheren Jahren erheblich gesunken ist. So ist der Stromverbrauch eines Kühlschranks des Baujahrs 1991 auf 70 % eines Gerätes des Baujahres 1978 gesunken, bei Gefriergeräten auf 60 %, bei Waschmaschinen auf 66 %. Geräte und Produkte, die für den internationalen Markt hergestellt werden, entsprechen den hohen deutschen Normen und Umweltschutzanforderungen im Bereich des Endenergieverbrauchs. Da nicht alle Länder der Europäischen Union vergleichbare gesetzliche Auflagen im Umweltschutzbereich haben, sind aus Wettbewerbsgründen europäische Regelungen anzustreben.

I.5. Forschungsverbände

⁶⁾ Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke (Hrsg.): Forschung, Entwicklung und

Ausgangslage

Forschungsverbände oder verbundähnliche Einrichtungen existieren in der Energieforschung in großer Zahl. Im Bereich der Hochschulen ist hier insbesondere auf die Sonderforschungsbereiche zu verweisen, die ein seit langem bewährtes Instrument sind, um die an einem Universitätsstandort vorhandenen Kapazitäten zu bündeln.⁷⁾ In der Energieforschung gehören dazu der Karlsruher Sonderforschungsbereich 167 "Hochbelastete Brennräume - stationäre Gleichdruckverbrennung", der sich mit der Entwicklung und Verbesserung von Hochleistungsbrennräumen befaßt und dabei auch die in der Energieforschung stets wichtigen materialwissenschaftlichen Aspekte mit einbezieht. Ein weiterer ist der an der TH Aachen angesiedelte Sonderforschungsbereich 561 "Thermisch hochbelastete, offenporige und gekühlte Mehrschichtsysteme für Kombi-Kraftwerke", dessen Ziel die Erarbeitung der strömungstechnischen, strukturmechanischen, werkstoffkundlichen und fertigungstechnischen Grundlagen für eine Steigerung der thermischen Gesamtwirkungsgrade von Kombi-Kraftwerken von derzeit 58 % auf über 65 % ist. Auch der Sonderforschungsbereich 238, "Prozeßnahe Meßtechnik und systemdynamische Modellbildung für mehrphasige Systeme" (TU Hamburg-Harburg) ist in diesem Zusammenhang zu nennen.

Neben universitätsinternen existieren noch andere Programm- und Koordinationsverbände⁸⁾, die über institutionelle Grenzen hinweg energiewissenschaftliche Forschungspotentiale bündeln. Der Freistaat Bayern verfolgt seit langem die Politik, durch die Bildung von Forschungsverbänden knappe Ressourcen gezielt zu vergeben und optimal auszunutzen. Durch die Zusammenarbeit aller thematisch

Demonstration in der Elektrizitätswirtschaft 1995, S. 9.

⁷⁾ Vgl. Abschnitt B.II.4. "Finanzierung".

⁸⁾ Zur Typologie vgl. Wissenschaftsrat: Empfehlungen zur Förderung materialwissenschaftlicher Forschung und Lehre an den Universitäten, in: Empfehlungen und Stellungnahmen 1993, Köln 1994, S. 291 ff.

kompetenten Forschergruppen im Land können auf diese Weise besondere Synergieeffekte erzielt werden. Zu den Bayerischen Forschungsverbänden gehört auch der von der Bayerischen Forschungstiftung geförderte Forschungsverbund Solarenergie FORSOL. An diesem Forschungsverbund, der seit Oktober 1994 besteht, sind sowohl Industrieunternehmen als auch Universitäten und außeruniversitäre Forschungsinstitute beteiligt. Die Universitäten Bayreuth, Erlangen-Nürnberg, München, Regensburg, Stuttgart und Würzburg sowie Forschungseinrichtungen, wie das Fraunhofer-Institut für Festkörpertechnologie und das Bayerische Zentrum für Angewandte Energieforschung (ZAE), arbeiten in diesem Verbund zusammen, um innovative Dünnschichttechnologien zu entwickeln, die zu einer nachhaltigen Senkung der Herstellungskosten für Solarzellen führen. Dabei wird die Silicium- und die CIS-Dünnschichttechnologie⁹⁾ verfolgt. Sprecherhochschule des Verbundes, der in seiner vierjährigen Laufzeit über einen Finanzrahmen von ca. 30 Mio. DM verfügt, ist die Universität Erlangen-Nürnberg.

Eine Sonderform des Verbunds stellt das Bayerische Zentrum für Angewandte Energieforschung dar, das 1991 als gemeinnütziger Verein mit Sitz in Würzburg gegründet wurde. Der Verein soll angewandte Energieforschung mit dem Ziel der Entwicklung energiesparender Techniken und Konzepte fördern, die regenerative Energiequellen erschließen. Er unterhält ein Forschungsinstitut mit vier Abteilungen in München, Erlangen und Würzburg, die thematisch und operativ eng untereinander vernetzt und jeweils über Kooperationsverträge mit den Universitäten in München, Erlangen und Würzburg verbunden sind (vgl. hierzu Abschnitt C.V.7.).

Eine große Zahl der institutionenübergreifenden Verbände in der Energieforschung ist im Bereich der erneuerbaren Energien angesiedelt. Zum Teil verknüpfen diese Verbände Aktivitäten innerhalb eines Landes, zum Teil sind sie jedoch auch bundesweit angelegt. Ein Beispiel für einen landesweit operierenden Forschungsverbund im Bereich der Energieforschung ist neben dem bereits erwähnten Bayerischen Forschungsverbund FORSOL die 1991 in Nordrhein-Westfalen ins Leben gerufene "Arbeitsgemeinschaft Solar". Ziel dieser Initiative ist es, durch Unterstützung von anwendungsnaher Forschung und Entwicklung, von beispielhaften

⁹⁾ Vgl. Abschnitt A.III.3.5.1.

Demonstrationsvorhaben sowie durch ein verstärktes Aus- und Weiterbildungsangebot zusätzliche Impulse zur vermehrten Nutzung von solarer Energie zu geben und die Anstrengungen von Hochschulen, Forschungsinstituten, Wirtschafts- und kommunalen Unternehmen zu bündeln und zu stärken. Diesem vom Land mit jährlich ca. 15 Mio. DM geförderten Verbund haben sich mittlerweile 140 Forschungsgruppen und Anwender angeschlossen. Die fachlichen Inhalte und Tätigkeiten der Arbeitsgemeinschaft werden konkret in einem mehrjährigen Rahmenprogramm definiert. Seit 1996 sind die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in die Themenfelder solare Energie und Wärmesysteme, ökologische Bauweise und Solarenergienutzung in Gebäuden, solare Chemie und solare Materialforschung sowie nachhaltiges Stoff- und Energiemanagement gegliedert.

Ein Beispiel für einen auf Bundesebene etablierten Forschungsverbund im Bereich der erneuerbaren Energien ist der Forschungsverbund Sonnenenergie. Er wurde 1990 auf Initiative des Bundesministers für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie gegründet, um der Solarenergieforschung in Deutschland neue Impulse und Intensität zu geben. Zum Verbund gehören z.Z. sieben Institutionen, in denen erneuerbare Energien ganz oder teilweise im Mittelpunkt der FuE-Aktivitäten stehen. Neben dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), dem Hahn-Meitner-Institut und dem Forschungszentrum Jülich sind das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, das Institut für Solarenergieforschung in Hameln, das Institut für Solare Energieversorgungstechnik in Kassel sowie das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg beteiligt. Der Forschungsverbund Sonnenenergie umfaßt insgesamt über 800 Mitarbeiter und stellt somit den größten Kompetenzpool Europas auf diesem Gebiet dar. Neben der Förderung durch das BMBF erhält der Verbund über die Grundfinanzierung der beteiligten Einrichtungen auch Mittel der Länder Baden-Württemberg, Berlin, Hessen, Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen. Zu den Forschungsfeldern des Verbundes gehören z.B. Photovoltaik, Energiespeicher, Niedertemperaturanwendungen, Wasserstofftechniken, solares Bauen und solarthermische Kraftwerke.

Ein Beispiel für einen vom BMBF geförderten Forschungsverbund im Bereich der seit langem etablierten und in breitem industriellen Einsatz befindlichen Technologien stellt die seit 1985 existierende Arbeitsgemeinschaft Hochtemperaturgas-

turbine (AG Turbo) dar. An dieser Arbeitsgemeinschaft sind Wissenschaftler der Universitäten Aachen, Bochum, Darmstadt, Hannover, Karlsruhe, Stuttgart sowie der Technischen Universität München und der Universität der Bundeswehr in München beteiligt. Darüber hinaus wirken außeruniversitäre Forschungseinrichtungen, wie z.B. das Institut für Antriebstechnik des DLR in Köln, und Industrieunternehmen mit. In der AG Turbo wird auf breiter Front wissenschaftlich-technische Forschung für den Entwurf zukünftiger Gasturbinen betrieben. Ziel ist die umweltfreundliche und effizientere Gestaltung von Kraftwerken. 98 Einzelvorhaben mit einem Kostenvolumen von ca. 100 Mio. DM seit 1986 verteilen sich auf drei Arbeitsbereiche. In dem Arbeitsbereich Turbotherm liegt das Schwergewicht auf Forschungen zur Effizienz des Wärmetransfers und zu Materialien. In dem Arbeitsbereich Turboflam liegt der Schwerpunkt auf der Entwicklung von Brennkammern und der Emissionskontrolle. Im Bereich Turbotech steht die Entwicklung von Verdichtern im Vordergrund. Ziel ist die Erstellung fortschrittlicher Auslegungsverfahren, die Erweiterung des stabilen Betriebsbereichs sowie die Minimierung der Verluste.

Ein weiteres Beispiel für einen solchen auf die Optimierung etablierter Technologien zielenden Verbund ist die AG TECFLAM, die 1984 in Karlsruhe gegründet und durch das Bundesministerium für Forschung und Technologie sowie die Länder Baden-Württemberg und Hessen gefördert wurde. Die Arbeitsgemeinschaft umfaßt Einrichtungen der Universitäten Heidelberg, Karlsruhe, Stuttgart, Darmstadt und die DLR-Institute für Verbrennungstechnik in Stuttgart und für Antriebstechnik in Köln sowie im Bereich der Angewandten Mathematik das Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik in Berlin. Ziel der Arbeiten ist, das weite Spektrum technischer Verbrennungsprozesse mit modernen experimentellen Methoden zu untersuchen und parallel dazu mathematische Modelle zu entwickeln, mit deren Hilfe Entwurf und Auslegung von Anlagen vereinfacht und die Vorhersage von Emissionen auf eine sichere Basis gestellt werden können.

Zu den bundesweit tätigen Forschungsverbänden sind auch die Schwerpunktprogramme der Deutschen Forschungsgemeinschaft zu rechnen. Zur Zeit laufen zwei im Jahr 1998 eingerichtete Schwerpunktprogramme "Neuartige Schichtstruk-

turen für Brennstoffzellen" und "Systemtheoretische Verfahren zur Führung trans-europäischer Energiesysteme" (vgl. Abschnitt B.II.4.).

Stellungnahme

Forschung vollzieht sich in einer Vielfalt von Organisationsformen. Neben die auf Dauer angelegten, arbeitsteilig organisierten Institute als der klassischen Form der Forschungsorganisation treten zunehmend Forschungsverbände, die ähnlich wie das Institut thematisch fokussiert sind, darüber hinaus jedoch noch den Vorteil der befristeten Einrichtung aufweisen und daher besonders flexibel auf die wechselnden Anforderungen von Forschung und Praxis ausgerichtet werden können. Darüber hinaus stellen Verbände ein besonders gutes Instrument dar, um die Zusammenarbeit zwischen öffentlich geförderter und industrieller Forschung und Entwicklung zu fördern.¹⁰⁾

Der Wissenschaftsrat ist der Auffassung, daß dem Instrument der Sonderforschungsbereiche im Bereich der Energieforschung große Bedeutung zukommt, da in ihnen Grundlagenarbeiten durchgeführt werden können, ohne die die stärker technologisch orientierten Forschungsarbeiten in außeruniversitären Einrichtungen nicht erfolgreich betrieben werden können. Energiewissenschaftliche Sonderforschungsbereiche sollten jedoch nur dort eingerichtet werden, wo eine genügende kritische Masse vorhanden ist und darüber hinaus die Sprecheruniversität bereit ist, der Energieforschung im Rahmen ihres übergreifenden Forschungsprofils einen

¹⁰⁾ Vgl. hierzu Susanne Lütz: Die Steuerung industrieller Forschungskooperation: Funktionsweise und Erfolgsbedingungen des staatlichen Förderinstrumentes Verbundforschung, Frankfurt/M. 1993.

angemessenen Platz einzuräumen und sie durch Bereitstellung eigener Ressourcen zu unterstützen.¹¹⁾ Zu einer stärkeren Bündelung und Fokussierung von Forschungskompetenzen und -ressourcen im Bereich der Energieforschung können auch entsprechende Schwerpunktprogramme der Deutschen Forschungsgemeinschaft beitragen.

Forschungsverbände stellen im Bereich der erneuerbaren Energien ein besonders sinnvolles und erfolgversprechendes Instrument dar, da dieses Gebiet sehr zersplittert ist, die existierenden Potentiale aber nur dann eine Aussicht auf international konkurrenzfähige Ergebnisse haben, wenn sie zu kritischer Masse gebündelt werden. Auch ist unverkennbar, daß die wachsende Bedeutung, die erneuerbaren Energien für die künftige Energieversorgung zukommt, häufig zu kurzfristigem Aktionismus führt, der bewirkt, daß Förderinitiativen zu isoliert und zu wenig langfristig angelegt werden. Die Einbindung in übergreifende Verbundstrukturen kann dieser Orientierung an kurzfristigen forschungspolitischen Konjunktoren entgegensteuern und dazu beitragen, daß sich die Forschung zu erneuerbaren Energien weiter konsolidiert. Unabhängig von der Notwendigkeit der Zusammenfassung vorhandener Aktivitäten in Verbänden sind nach Ansicht des Wissenschaftsrates auch Anstrengungen zur thematischen Konzentration erforderlich, um eine unproduktive Ressourcenzersplitterung zu vermeiden.

Die Bildung von Forschungsverbänden stellt auch ein sinnvolles Instrument dar, um in solchen Bereichen der Energieforschung Fortschritte bei der Optimierung zu erzielen, die sich mit seit langem etablierten und in breitem industriellen Einsatz befindlichen Technologien befassen. Obwohl es sich dabei um "ausgereifte" Technologien handelt, kommt ihrer langfristig betriebenen wissenschaftlichen Weiterentwicklung trotzdem besondere Bedeutung zu, da bereits vergleichsweise geringfügige Optimierungserfolge aufgrund breiten Einsatzes zu bedeutenden ökonomischen und ökologischen Verbesserungen beitragen können.

B.II. Finanzierung der Energieforschung

¹¹⁾ Wissenschaftsrat: Stellungnahme zur Entwicklung des Programms der Sonder-

II.1. Übersicht

Die Finanzierung der Energieforschung an Hochschulen und öffentlich geförderten außeruniversitären Forschungseinrichtungen erfolgt in Deutschland vornehmlich mit Mitteln von Bund und Ländern, der Europäischen Union, der Deutschen Forschungsgemeinschaft und der Industrie. Dabei orientiert sich die Förderung von Bund und Europäischer Union an politischen Zielvorstellungen, die sich in der Formulierung von Programmen oder der institutionellen Finanzierung von Forschungseinrichtungen zur Bearbeitung bestimmter Forschungsfelder niederschlagen. Gleiches gilt für die Projektförderung der Länder und die von ihnen überwiegend gemeinsam mit dem Bund finanzierten außeruniversitären Forschungseinrichtungen. Daneben spielen die Länder aber auch eine erhebliche Rolle bei der nicht programmgebundenen Finanzierung der Energieforschung durch die Bereitstellung der Grundausstattung für die Forschung der Hochschulen. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft stellt Fördermittel in der Regel ohne inhaltliche Vorgaben auf Antrag der Forschenden bereit. Die Industrie beteiligt sich an der Finanzierung der Energieforschung in öffentlichen Einrichtungen entweder durch die Vergabe von Forschungs- und Entwicklungsaufträgen oder in Form von Forschungs Kooperationen. Die industriellen Auftraggeber oder Projektpartner kooperieren dabei entweder direkt oder über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" (AiF) mit Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen.

Zur Vorbereitung der vorliegenden Stellungnahme wurde eine Umfrage bei Universitäten, Fachhochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen durchgeführt, die auch Aufschluß über die Struktur der Drittmittelfinanzierung in der Energieforschung geben sollte. Die Ergebnisse sind in Übersicht 16 zusammengestellt und werden in den folgenden Abschnitten erläutert.¹²⁾

einfügen Übersicht 16

forschungsbereiche, Drs. 3346/98 vom 23. Januar 1998.

¹²⁾ Diskrepanzen zwischen den Zahlenangaben in der Übersicht und den im folgenden angeführten Daten der Finanzstatistik sind darauf zurückzuführen, daß sich die Energieforschung innerhalb der Physik, den Ingenieurwissenschaften oder anderen

bitte noch ausstehende **Standardisierung dieser Tabelle beachten inkl Hinweis: nach eigenen Angaben**

II.2. Bund und Länder

Im Jahr 1996 förderten Bund und Länder die Energieforschung mit rund 1,1 Mrd. DM (ohne institutionelle Förderung der Hochschulen); dies entspricht 3,4 % der Gesamtaufwendungen für Forschung und Technologie. Damit hat die Energieforschung in der öffentlichen Forschungsförderung in Deutschland einen ähnlichen Stellenwert wie in den Niederlanden und Österreich, während in Frankreich, Portugal und Finnland stärkere Akzente, in den übrigen Mitgliedsstaaten der Europäischen Union geringeres Gewicht auf die Energieforschung gesetzt werden.¹³⁾ Im Vergleich der Bedeutung öffentlicher Forschungsförderung im Energiebereich in den G7-Staaten lag Deutschland 1996 mit einem Anteil der Fördermittel von 0,15 % am Bruttoinlandsprodukt zwar vor Großbritannien (0,07 ‰), blieb aber deutlich hinter Italien (0,25 ‰), den USA (0,32 ‰), Frankreich (0,39 ‰), Kanada (0,41 ‰) und insbesondere Japan (0,92 ‰) zurück.¹⁴⁾

a) Bund

Die Bundesregierung fördert die Energieforschung überwiegend im Rahmen ihres 1996 aufgelegten "4. Programms Energieforschung und Energietechnologie", das die Forschungsförderung der früher für den Energiebereich vornehmlich zuständigen Ressorts Bildung und Forschung sowie Landwirtschaft und Forsten zusammenführt. Bei einer Finanzplanung von fünf Jahren bis zum Jahr 2000 sah das Programm zunächst Gesamtaufwendungen von knapp 4 Mrd. DM vor. Im Jahr 1997 wurde das Programm bis 2001 fortgeschrieben, wobei die gleichzeitige Erhöhung des Finanzvolumens auf 4,5 Mrd. DM faktisch zu verringerten jährlichen Aufwendungen führte, die nun im Durchschnitt bei rund 750 Mio. DM liegen. Von Kürzungen betroffen waren fast alle Gebiete und Felder der Energieforschung mit Ausnahme der Fusionsforschung, deren jährliche Ansätze jeweils um rund 10 % erhöht wurden.

¹³⁾ Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (Hg.): Faktenbericht zum Bundesbericht Forschung 1998, Bonn 1998, S. 422-423.

¹⁴⁾ International Energy Agency: Energy Policies of IEA Countries, 1997 Review, Paris 1997, S. 279.

Insgesamt sind die Mittel des Bundes für die Energieforschung seit den 80er Jahren erheblich zurückgegangen. Sie nahmen auch seit Beginn der 90er Jahre weiter ab, obwohl zu jenem Zeitpunkt zusätzlich die institutionelle und projektbezogene Förderung von Energieforschung in den neuen Ländern aufgenommen wurde. Diese Entwicklung wird in den Übersichten 17 und 18 dokumentiert (in Übersicht 17 sind die Forschungs- und Entwicklungsausgaben des Bundes für die Energieforschung 1974-1996 grafisch dargestellt¹⁵⁾; Übersicht 18 gibt die Forschungsförderung des BMBF für den Bereich Energieforschung und -technologie 1974-1997 wieder¹⁶⁾).

Innerhalb des 4. Energie-Forschungsprogramms bildet die Fusionsforschung mit einem Anteil von knapp 30 % an den Gesamtaufwendungen einen der Schwerpunkte; zusammen mit den Mitteln für den Bereich Kernspaltung (knapp 23 %) entfällt auf die Förderung der Kernforschung mehr als die Hälfte der gesamten Fördersumme im Jahr 1997. Zu den Schwerpunkten zählt außerdem der Bereich erneuerbare Energien, dessen Anteil an den Fördermitteln 1997 rund 27 %, im Jahr 2001 gut 26 % betragen soll. Die übrigen Mittel verteilen sich auf die Bereiche Energieumwandlung (9,5 %), rationelle Energieanwendung (ca. 8 %) und die Bearbeitung übergreifender Themen (ca. 2,5 %), wozu u.a. Systemanalysen zählen.¹⁷⁾

¹⁵⁾ Inflationsbereinigt mit dem Bezugsjahr 1981.

¹⁶⁾ Nominale Beträge, ohne Kosten für Beseitigung kerntechnischer Anlagen.

¹⁷⁾ Berechnet nach Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (Hg.): 4. Programm Energieforschung und Energietechnologien, Bonn 1997, S. 111.

Übersicht 17:

Übersicht 18:

Seit Verabschiedung des Vorläufers der Energieforschungsprogramme ("Rahmenprogramm Energieforschung") im Jahr 1974 haben sich die Schwerpunkte der Förderung deutlich verschoben: während bis zur Mitte der 80er Jahre die Kernspaltung mit mindestens zwei Dritteln der Gesamtmittel gefördert wurde, gingen die realen Aufwendungen in diesem Bereich in der Folge stark zurück, so daß sich bei insgesamt schrumpfendem Förderetat für die Energieforschung die Anteile der Fusionsforschung, der regenerativen Energien und der rationellen Energieverwendung deutlich vergrößerten (vgl. Übersichten 17 und 18). Diese Entwicklung spiegelt die Veränderung der Zielsetzungen wider, die mit den Förderprogrammen verfolgt wurden: in den 70er und frühen 80er Jahren war es unter dem Eindruck der Ölkrisen vornehmlich die Suche nach rasch verfügbaren Alternativen zum Primärenergieträger Erdöl, die die Programmkonzeptionen motivierte. Eine zunehmend systemare Sichtweise der Energieversorgung mit ihren komplexen externen Effekten führte im Verlauf der 80er und 90er Jahre zu einer stärkeren Berücksichtigung von Umwelt- und Klimaschutzaspekten, die sich im 4. Forschungsprogramm in einer Gruppierung der wesentlichen Förderbereiche um die Ziele "Reduzierung des Energiebedarfs" (effiziente Energieumwandlungstechniken und rationelle Energieanwendung, 1996 zusammen 18 % der Fördermittel), "Energieversorgung mit verringerter CO₂- und Umweltbelastung" (erneuerbare Energien und Kernspaltung, 1996 zusammen 53 %) und "Langfristoptionen für die Energieversorgung" (Fusion, 1996 26 %) niederschlug.

Ein erheblicher und wachsender Teil der Mittel der Energieforschungsprogramme entfällt auf die institutionelle Förderung verschiedener Helmholtz-Zentren, die vornehmlich anwendungsbezogene Grundlagenforschung mit mittel- bis langfristiger Perspektive durchführen: 1990 waren dies mit 551 Mio. DM 47 % der gesamten Förderung von Energieforschung durch die Bundesregierung, 1996 bei insgesamt geringerem Programmvolumen mit 369 Mio. DM 51 %; für das Jahr 2000 ist ein Anteil von 59 % geplant. Der im Vergleich zur Materialforschung (29 %)¹⁸⁾ hohe Anteil der institutionellen Förderung für die Helmholtz-Zentren spiegelt die Entwicklung des Engagements des Bundes in der Energieforschung, in dessen Mittelpunkt in

den 70er und frühen 80er Jahren die Bereitstellung kostenintensiver Forschungsinfrastruktur für die Kernforschung stand, die nur im Rahmen von Großforschungseinrichtungen möglich war; die entsprechenden Einrichtungen haben ihre Arbeitsschwerpunkte mittlerweile zum Teil auf andere Gebiete der Energieforschung verlagert (vgl. Abschnitt C.IV.).

Im Jahr 1996 gingen 47 % (229 Mio. DM) der direkten Projektfördermittel des BMBF für die Energieforschung an Forschungseinrichtungen der Industrie, wobei der Industrieanteil besonders im Bereich der Kernspaltung hoch war (64 %); die übrigen Mittel (259 Mio. DM) wurden für Projekte in öffentlichen wissenschaftlichen Forschungseinrichtungen verwandt.¹⁹⁾ Übersicht 16 (Seite 191) zeigt, daß der Bund 1996 mit 138 Mio. DM zu knapp 30 % zum Drittmittelaufkommen der befragten Einrichtungen beitrug, wobei ein großer Teil der Mittel auf Universitäten (43 %) und Helmholtz-Zentren (31 %) entfiel. In Anteile am gesamten Drittmittelaufkommen der verschiedenen Einrichtungen umgerechnet, kommt der Projektfinanzierung durch den Bund insbesondere bei der Energieforschung der Institute der Fraunhofer-Gesellschaft mit 62 % und der Helmholtz-Zentren mit 43 % große Bedeutung zu, während in den übrigen Institutionen Bundesmittel rund ein Viertel der insgesamt eingeworbenen Drittmittel ausmachten.

b) Länder

Der weit überwiegende Teil der Gesamtaufwendungen der Länder für Wissenschaft und Forschung fließt den Hochschulen zu; 1996 waren dies mit 29 Mrd. DM 85 % der Gesamtmittel.²⁰⁾ Von den Ausgaben für Forschung und Entwicklung, die 1995 14,6 Mrd. DM betragen, entfielen rund 71 % auf die Hochschulen, 23 % auf außeruniversitäre Forschungseinrichtungen und 6 % auf den Wirtschaftssektor.²¹⁾

¹⁸⁾ Vgl. Wissenschaftsrat: Stellungnahme zur außeruniversitären Materialwissenschaft, Köln 1996, S. 79-80.

¹⁹⁾ Faktenbericht, a.a.O., S. 54.

²⁰⁾ Faktenbericht, a.a.O., S. 395. Der Anteil der Gemeinden an der Wissenschaftsfinanzierung ist mit knapp 1 % marginal.

²¹⁾ Faktenbericht, a.a.O., S. 40. Angaben für 1996 sind nicht verfügbar.

Die Länder wendeten 1995 für die institutionelle Förderung außeruniversitärer Forschungseinrichtungen im Energiebereich Mittel in Höhe von 279,4 Mio. DM auf;²²⁾ hinzu kommt die institutionelle Förderung der Hochschulen, für die keine Zahlen vorliegen.

Neben ihren Beiträgen zur institutionellen Förderung der Energieforschung an Hochschulen und außeruniversitären Einrichtungen, die von den Ländern allein oder nach Artikel 91b des Grundgesetzes gemeinsam mit dem Bund finanziert werden, vergeben die Länder im Rahmen der Forschungs- und Technologieförderung Projektmittel an öffentliche und private Forschungseinrichtungen. Übersicht 16 zeigt, daß sich die Höhe der von den befragten Einrichtungen im Jahr 1996 bei den Ländern eingeworbenen Drittmittel für die Energieforschung mit denen der Deutschen Forschungsgemeinschaft in etwa die Waage hielt. Größere Anteile entfielen auf die Universitäten und die "anderen" Forschungseinrichtungen; in letzteren, bei denen es sich vielfach um von den Ländern auch institutionell geförderte Institute handelt, trugen Landesmittel zu gut 20 % zum gesamten Drittmittelaufkommen bei. Damit lagen sie hinter den Fachhochschulen, die bei insgesamt geringerem Drittmittelaufkommen mehr als 30 % ihrer Projektmittel von den Ländern erhielten.

Einige Länder haben spezielle Programme für die Energieforschung aufgelegt, die überwiegend auf die Entwicklung von anwendungsreifen Techniken zur Nutzung regenerativer Energien zielen und gemeinsam von öffentlichen Einrichtungen und der Industrie durchgeführte Projekte (Verbundforschung, vgl. B.I.5) fördern. So unterstützt z. B. das Land Baden-Württemberg Verbundforschungsvorhaben auf den Gebieten Photovoltaik und Brennstoffzellen. In Bayern stehen solare Energiesysteme im Mittelpunkt der Forschungsverbünde FORSOL und SOLEG. In Niedersachsen werden Demonstrations- und Entwicklungsvorhaben zu regenerativen Energien im Rahmen der Wirtschaftsförderung unterstützt. Verbundforschung zur Solarenergie fördert das Land Nordrhein-Westfalen in der Arbeitsgemeinschaft Solar NRW. Forschungsarbeiten zur Altbausanierung unter dem Gesichtspunkt der energetischen Optimierung werden mit dem Programm ISOTEG in Bayern geför-

²²⁾ Berechnet nach Faktenbericht, a.a.O., S. 378-379, 392.

dert. Auch in anderen Ländern bestehen Förderangebote, auf die hier nicht im einzelnen eingegangen werden kann.

Die Länder Baden-Württemberg (1989) und Schleswig-Holstein (1994) haben gemeinsam mit Wirtschaftsunternehmen Stiftungen zur Förderung der Energieforschung eingerichtet. Jede der Stiftungen verfügt über ein Grundkapital von 100 Mio. DM. Die "Stiftung Energieforschung Baden-Württemberg" fördert Arbeiten zu regenerativen Energien und rationeller Energieanwendung in überwiegend anwendungsnahen Bereichen.²²⁾ Die "Energienstiftung Schleswig-Holstein" engagiert sich ebenfalls auf diesem Gebiet und stellt daneben Mittel für Forschungen zur rationellen Energieverwendung und zu umweltschonenden Energiewandlungstechniken zur Verfügung.

II.3. Europäische Union

Auf die Energieforschung entfällt ein wesentlicher Teil der Forschungsförderung der Europäischen Union, wenngleich ihr Anteil von 47 % (1,8 Mrd. ECU) im 1. Rahmenprogramm (1984 bis 1987) auf 18 % (2,4 Mrd. ECU) im 4. Rahmenprogramm (1994 bis 1998) deutlich zurückgegangen ist (vgl. Übersicht 19). Während im 1. Rahmenprogramm mit 47 % (830 Mio. ECU) knapp die Hälfte der Fördermittel im Energiebereich auf nicht-nukleare Energien entfiel, sank deren Anteil im 2. und 3. Rahmenprogramm auf 10 % bzw. 25 % ab. Entsprechend stieg der Anteil der Mittel für die Forschung zur zivilen Kernenergienutzung auf 90 % (1,05 Mio. ECU) im 2. Rahmenprogramm und 75 % (800 Mio. ECU) im 3. Rahmenprogramm. Dabei wurde nach einer annähernden Gleichverteilung im 1. Rahmenprogramm in der Folge ein eindeutiger Schwerpunkt bei der Fusionsforschung gesetzt, für die im 3. und 4. Rahmenprogramm mit 568 Mio. ECU bzw. 895 Mio. ECU mehr als das Doppelte der Fördermittel für die Kernspaltung aufgewandt wurde. Mit dem 4. Rahmenprogramm fand eine Neubewertung der Forschung zu nicht-nuklearen Energien statt, die sich in einem auf 44 % (1,0 Mrd. ECU) gestiegenen Anteil an

²²⁾ Zum 1. Januar 1998 hat sich das Land Baden-Württemberg aus der Stiftung zurückgezogen, die seither von den beteiligten Unternehmen allein weitergeführt wird.

den Fördermitteln gegenüber 56 % für die nuklearen Energien (1,3 Mio. ECU, darunter 895 Mio. ECU für den Bereich Fusion) äußerte.²³⁾

Auch im 5. Rahmenprogramm für die Jahre 1998 bis 2002, das derzeit abschließend beraten wird, wird die Fusionsforschung eine wichtige Rolle spielen. Die Europäische Kommission hat im Mai 1998 einen Vorschlag vorgelegt, der die bisherige Mittelverteilung weitgehend fortschreibt. Er sieht einen Ansatz von 1,1 Mrd. ECU für das EURATOM-Programm vor, wovon 920 Mio. ECU auf die Fusionsforschung entfallen sollen.²⁴⁾ Für Forschung zu nicht-nuklearen Energien werden 980 Mio. ECU veranschlagt.²⁵⁾

²³⁾ Angaben der Generaldirektion XII der Europäischen Kommission.

²⁴⁾ Die Förderung von FuE zur Kernenergie durch die EU erfolgt auf der Grundlage des EURATOM-Vertrags; die entsprechenden Fördermittel sind in den Ansätzen der EU-Rahmenprogramme enthalten.

²⁵⁾ Angaben der Koordinierungsstelle der Wissenschaftsorganisationen (KOWI) in Brüssel.

Übersicht 19:

Übersicht 16 zeigt, daß die befragten Einrichtungen mit Mitteln der Europäischen Union knapp 20 % ihrer Drittmittelprojekte in der Energieforschung finanzierten, wobei der überwiegende Teil (70 %) der Fördermittel den Helmholtz-Zentren, darunter insbesondere dem Institut für Plasmaphysik in Garching (41 Mio. DM), zugute kam. Auf die Universitäten entfiel mit 22 Mio. DM ebenfalls ein größerer Teil der Fördermittel, was einem Anteil an ihrem gesamten Drittmittelaufkommen von knapp 10 % entspricht. In ähnlicher Größenordnung bewegte sich der Anteil der Förderung durch die Europäische Union bei den Fachhochschulen (12 %) und den Fraunhofer-Instituten (9 %), bei den anderen Forschungseinrichtungen lag er darunter.

II.4. Deutsche Forschungsgemeinschaft

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) bewilligte für die Energieforschung²⁶⁾ nach eigenen Angaben im Jahr 1996 rund 36,2 Mio. DM, was einem Anteil von 1,8 % an den Gesamtbewilligungen entspricht. Die DFG fördert primär die Energieforschung an Hochschulen, wie die Ergebnisse der Umfrage des Wissenschaftsrates zeigen: über 90 % der von der DFG für die befragten Einrichtungen bereitgestellten Drittmittel kamen den Hochschulen zugute, was einem Anteil von 20 % am gesamten Drittmittelaufkommen der Hochschulen für die Energieforschung entspricht.

Neben dem Normalverfahren, das vornehmlich der Förderung von Einzelprojekten dient, entfällt ein größerer Teil der Mittel auf Instrumente zur Förderung kooperativer Forschung: so werden Fragen der Energieforschung in verschiedenen Sonderforschungsbereichen (SFB) bearbeitet, mit denen die meist fachübergreifende Kooperation von Wissenschaftlern an einer Hochschule in langfristig angelegten Forschungsprogrammen gefördert wird. Primär der Energieforschung zuzuordnen sind die folgenden, bereits in den 80er Jahren eingerichteten und überwiegend bereits abgeschlossenen Sonderforschungsbereiche: Der 1983 an der Technischen

²⁶⁾ Die Fächersystematik der Deutschen Forschungsgemeinschaft erfaßt die Energieforschung nicht als eigenes Fachgebiet, sondern ordnet energiewissenschaftliche Projekte je nach ihrer primären fachlichen Ausrichtung den verschiedenen Gebieten der Natur- und Ingenieurwissenschaften zu.

Hochschule Aachen eingerichtete SFB 144 "Methoden zur Energie- und Rohstoff einsparung für ausgewählte Fertigungsprozesse" (bis 1996), SFB 167 "Hochbelastete Brennräume" an der Universität Karlsruhe (1984-1998), SFB 224 "Motorische Verbrennung" an der Technischen Hochschule Aachen (1984-1995), SFB 238 "Prozeßnahe Meßtechnik und systemdynamische Modellbildung für mehrphasige Systeme" an der Technischen Universität Hamburg-Harburg (1986-1999), SFB 339 "Schaufeln und Scheiben in Gasturbinen" an der Technischen Universität Berlin (1988-1996). Ende der 80er/Anfang der 90er Jahre wurden eingerichtet: SFB 270 "Wasserstoff als Energieträger" an der Universität Stuttgart (seit 1989), SFB 359 "Reaktive Strömungen, Diffusion und Transport" an der Universität Heidelberg (seit 1993) sowie SFB 365 "Umweltfreundliche Antriebstechnik für Fahrzeuge an der Technischen Universität München (seit 1993). Zusammen entfielen auf diese Initiativen im Jahr 1996 rund 16 Mio. DM. Mitte 1998 nimmt mit dem SFB 561 "Thermisch hochbelastete, offenporige und gekühlte Mehrschichtsysteme für Kombi-Kraftwerke" an der Technischen Hochschule Aachen ein weiterer Sonderforschungsbereich mit energiewissenschaftlicher Thematik seine Arbeit auf.

In Schwerpunktprogrammen werden Projekte ohne örtliche oder institutionelle Vorgaben zu bestimmten Themen mit dem Ziel gefördert, das jeweilige Forschungsgebiet stärker in der Wissenschaftslandschaft zu etablieren. Für die Energieforschung relevant sind die Schwerpunkte "Systemtheoretische Verfahren zur Führung transeuropäischer Energiesysteme" sowie "Neuartige Schichtstrukturen für Brennstoffzellen", die beide 1998 eingerichtet wurden.²⁷⁾

In mehreren Graduiertenkollegs wird der wissenschaftliche Nachwuchs, vornehmlich Doktoranden, bei Arbeiten in der Energieforschung gefördert: seit 1991 an der Technischen Universität Dresden zum Thema "Lokale innovative Energiesysteme", seit 1992 an der Universität Karlsruhe zu "Energie- und Umwelttechnik - Maschinen- und systemtechnische Grundlagen umweltgerechter Energiewandlung" und seit 1993 an der Technischen Universität Aachen zu "Turbulenz und Verbrennung -

²⁷⁾ Bereits beendet sind die Schwerpunkte "Elektromagnetische Verträglichkeit moderner energietechnischer Systeme", auf den von 1991 bis 1996 insgesamt 17,4 Mio. DM entfielen, sowie "Neue Speicher- und Leitsysteme zur gesicherten elektrischen Energieversorgung", der von 1990 bis 1996 mit insgesamt 8,8 Mio. DM gefördert wurde.

Grundlagen zur Emissionsminderung". Zusammen entfielen auf diese Graduiertenkollegs 1996 1,7 Mio. DM.²⁸⁾

II.5. Industrie

Nach der Umfrage des Wissenschaftsrates stellte die Industrie im Jahr 1996 rund 19 % (91 Mio. DM) der Drittmittel für die Energieforschung an den befragten Einrichtungen zur Verfügung (Übersicht 16). Mit 60 % (54 Mio. DM) dieser Mittel für die Energieforschung förderte die Industrie die universitäre Forschung und trug damit zu 22 % zum gesamten Drittmittelaufkommen der Hochschulen in diesem Bereich bei. Anteile von über 10 % an den Drittmitteln aus der Industrie warben außerdem die Helmholtz-Zentren und die anderen Forschungseinrichtungen ein. Trotz absolut geringerer Beträge ist der Stellenwert industrieller Drittmittel jedoch auch bei den Fachhochschulen und insbesondere bei den Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft hoch, die wie die Universitäten jeweils mehr als 20% ihrer Drittmittel bei der Industrie einwarben (Übersicht 16).

Nach einer Erhebung des Stifterverbandes im Jahr 1995 betrug die Gesamtaufwendungen für Forschung und Entwicklung der im Wirtschaftssektor Energie- und Wasserversorgung tätigen Unternehmen ca. 317 Mio. DM. Nach einer Umfrage des Verbandes der Deutschen Elektrizitätswirtschaft beliefen sich die Aufwendungen der deutschen EVU im Rahmen von Projekten im Jahr 1995 auf rund 205 Mio. DM (vgl. Abschnitt B.I.4.).

Die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungseinrichtungen "Otto von Guericke" (AiF) fördert als Dachorganisation von 108 Forschungsvereinigungen der Industrie die Gemeinschaftsforschung vorwiegend kleiner und mittlerer Unternehmen. Sie finanziert sich aus öffentlichen Geldern (170 Mio. DM) und aus Eigenmitteln der

²⁸⁾ Neben den genannten befassen sich verschiedene andere Sonderforschungsbereiche, Schwerpunkte, Forschergruppen und Graduiertenkollegs auch, aber nicht hauptsächlich mit Fragen der Energieforschung. Bei der Schätzung des Anteils kooperativer Forschung an den Bewilligungen der DFG für die Energieforschung sind nur die genannten Initiativen berücksichtigt.

Industrie; die Gesamtaufwendungen für die industrielle Gemeinschaftsforschung von 634 Mio. DM wurden im Jahr 1996 zu 73 % von der Industrie aufgebracht. Auf die Energieforschung entfielen 1996 rund 11 % der Aufwendungen.²⁹⁾

II.6. Stellungnahme

Angesichts ihrer Bedeutung für die langfristige Sicherung einer verlässlichen, umweltverträglichen Energieversorgung wird der Förderung der Energieforschung auf nationaler wie internationaler Ebene ein hoher Stellenwert zugewiesen. Bund, Länder, Europäische Union, die Deutsche Forschungsgemeinschaft und andere öffentliche Förderer stellen insgesamt erhebliche institutionelle und Projektmittel zur Verfügung, um die Energieforschung in öffentlichen Einrichtungen zu fördern.

Der Wissenschaftsrat hat jedoch den Eindruck gewonnen, daß die insgesamt aufgewendeten Mittel nicht optimal eingesetzt werden. Es gibt zwar einerseits Gebiete, die ein bemerkenswert hohes Maß an Koordination und Schwerpunktbildung aufweisen, wie dies etwa bei der Kernfusion nicht nur im nationalen, sondern auch im europäischen und sogar weltweiten Rahmen zu beobachten ist. Andererseits gibt es vor allem auch in den Hochschulen Bereiche, die mit einer völlig unzureichenden Personal- und Sachausstattung eine kaum übersehbare Vielfalt von Einzelfragen bearbeiten, wie die Tabelle 1 im Anhang zeigt. Der Wissenschaftsrat empfiehlt mit Nachdruck, die verfügbaren Mittel stärker zu bündeln und somit wirkungsvoller einzusetzen. Dies allein reicht jedoch nicht aus, um Energieforschung in dem notwendigen Umfang und weiterhin auf international wettbewerbsfähigem Niveau zu betreiben. Dazu sind für verschiedene Teilbereiche zusätzliche Mittel erforderlich (vgl. Teil A), die zudem mit langfristiger Perspektive vergeben werden müssen.

Eine angemessene Förderung ist nicht nur durch die notwendige staatliche Vorsorge im gesellschaftlich zentralen Bereich der Energieversorgung und der dafür erforderlichen Energieforschung begründet. Der Energiesektor stellt einen wesent-

²⁹⁾ Auskunft der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungseinrichtungen.

lichen Wirtschaftszweig mit starker Exportorientierung dar. Sowohl die lang etablierte Verbrennung fossiler Energieträger und die Nutzung der Wasserkraft als auch neuere Anwendungen in Solar- und Windenergienutzung haben sich neben der Kernenergie zu Hochtechnologiebereichen entwickelt, die wissenschaftlich vielversprechende Fragestellungen und große wirtschaftliche Bedeutung miteinander verbinden. Dies ist der Hintergrund für die wesentlich ausgeprägtere staatliche Förderung der Energieforschung in Japan und den USA, die in absoluten Zahlen, aber auch bezogen auf das Bruttoinlandsprodukt deutlich höher als die in Deutschland aufgewandte Förderung ist; dabei ist zu berücksichtigen, daß bei der Förderung der Energieforschung in den genannten Ländern unterschiedliche Schwerpunkte und Abgrenzungen vorgenommen werden.

Zur Wahrung des im internationalen Vergleich noch hohen Standes der deutschen Forschung ist ein deutlicher Aufwuchs der Fördermittel notwendig. Der Wissenschaftsrat hält einen Zuwachs in einer Größenordnung von 30 % der Mittel für Energieforschung innerhalb von drei Jahren für wünschenswert. Die Förderung sollte sich vor allem an langfristigen Forschungszielen orientieren und verlässliche Rahmenbedingungen schaffen. Weitere Innovationen sind - unabhängig vom künftigen Anteil der verschiedenen Primärenergieträger an der Deckung des Energiebedarfs in Deutschland - unter energie-, umwelt- und wirtschaftspolitischen Gesichtspunkten von zentraler Bedeutung. Die zusätzlichen Forschungsmittel sollen - eingebunden in ein übergreifendes Programm - für Technische Verbrennung, Kraftwerkstechnik, Regenerative Energien, Rationelle Energienutzung und Energieanwendungstechnik, innovative Reaktorkonzepte und alternative Entsorgungswege für die Kernspaltung sowie für Kernfusion eingesetzt werden. Entscheidend ist jedoch auch, daß das Engagement der Wirtschaft nicht nur im produktnahen, sondern auch im anwendungsorientierten und vorwettbewerblichen Forschungsbereich auf angemessenem Niveau gehalten wird.

Die Qualität der apparativen Ausstattung der Energieforschung betreibenden Einrichtungen variiert deutlich nach Art der Institution und Feldern der Energieforschung. Die Infrastruktur für Forschungen zur Nutzung nuklearer Energien ist sowohl in den Helmholtz-Zentren als auch überwiegend an den Hochschulen auf gutem Stand. Für die Solarenergieforschung steht ebenfalls weitgehend gute Meß-

und Versuchstechnik zur Verfügung. Anders stellt sich die Situation in apparativ aufwendigen Gebieten der Verbrennungs-, Strömungs- und Kraftwerkstechnik dar, wo nicht zuletzt aufgrund der Zurückhaltung öffentlicher Forschungsförderung insbesondere an einigen Hochschulen erheblicher Erneuerungsbedarf besteht.

Die genannten Desiderate für die verstärkte Förderung einzelner Felder der Energieforschung und eine Verbesserung der Infrastruktur für die Forschung besonders an den Hochschulen sind durch eine stärkere Konzentration der Forschungsförderung zu erreichen. Wichtige Voraussetzungen an den Hochschulen sind dafür abgestimmte und koordinierte Schwerpunktbildungen zu ausgewählten Aufgaben der Energieforschung. In der Forschungsförderung sind Defizite in der Koordination zwischen den programmorientierten Förderern, insbesondere bei den Ländern untereinander sowie zwischen Ländern und Bund, festzustellen. So fehlt gegenwärtig eine Abstimmung und ein Austausch von Informationen und Daten über die Förderung von Energieforschung zwischen den Ländern sowie zwischen Bund und Ländern. Dies führt auch zur Duplikation von Projekten und Programmen, die über das für eine kompetitive Forschung wünschenswerte Maß hinausgeht. Der Bund und die Länder sind daher aufgefordert, wesentlich stärker als bisher für eine inhaltliche Abstimmung ihrer Förderschwerpunkte zu sorgen, um auf diese Weise die Effizienz der Förderung zu erhöhen. Zu diesem Zweck sollten geeignete Mechanismen für einen regelmäßigen Informationsaustausch und eine übergreifende Abstimmung entwickelt werden.

Begrüßenswert und noch ausbaufähig ist die Förderung kooperativer, in der Regel interdisziplinärer Forschung in der drittmittelfinanzierten Energieforschung. Bund und Länder tragen mit ihren verschiedenen Verbundprojekten (siehe auch B.I.5.) sowie den über die Deutsche Forschungsgemeinschaft finanzierten Sonderforschungsbereichen, Schwerpunktprogrammen und Graduiertenkollegs nicht nur dem disziplinenübergreifenden Charakter der Energieforschung Rechnung, sondern sichern zudem eine effiziente Nutzung der vorhandenen Forschungsinfrastruktur. Nicht zuletzt auch im Sinne einer stärkeren Konzentration und Koordination der Energieforschung in Deutschland, die besonders auf dem Gebiet der regenerativen Energien an vielen Universitäten und Fachhochschulen mit unterkritischer personeller Ausstattung betrieben wird, leistet die verstärkte institutionen-übergrei-

fende Kooperation in gemeinsamen Forschungsprojekten einen wichtigen Beitrag zum effizienten Einsatz von Fördermitteln für die Forschung.

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft ist auch im Bereich der Energieforschung ein entscheidender Forschungsförderer vor allem für die Universitäten. Dabei erlaubt das Normalverfahren die Förderung einer großen Vielfalt von Ideen, wobei eine strikte Qualitätskontrolle gewährleistet ist. Diese Vielfalt ist ein fruchtbarer Nährboden für innovative Entwicklungen. Sie ist jedoch dadurch gefährdet, daß die Bewilligungsquote im Normalverfahren während der letzten Jahren gesunken ist, worauf der Wissenschaftsrat bereits hingewiesen hat.³¹⁾ Außerdem wäre es wünschenswert, wenn Themen der Energieforschung im Rahmen der Förderinstrumente für Forschungsk Kooperationen, wie Schwerpunkte, Forschergruppen und Sonderforschungsbereiche, stärker vertreten wären.

Eine große Rolle für die Markteinführung von weniger verbreiteten Technologien, die sich bisher nicht auf Massenproduktion stützen können, wie z. B. Windenergie oder Photovoltaik, spielen neben der Forschungsförderung auch Anreize durch Investitionsbeihilfen, Abnahmegarantien und andere wirtschaftspolitische Instrumente. Markteinführungshilfen müssen zeitlich begrenzt und so angelegt sein, daß sie die Wettbewerbsfähigkeit der neuen Technik z.B. durch größere Produktionszahlen fördern. Markteinführungsförderung darf keine Dauersubvention werden, da dann die Gefahr besteht, auf dem Markt nicht konkurrenzfähige Techniken zu stützen. Eine Reihe der derzeitigen Fördermaßnahmen zur Markteinführung erfüllt die Anforderungen an eine effiziente Förderung nicht. Der Wissenschaftsrat empfiehlt den öffentlichen Zuwendungsgebern daher, das gesamte Spektrum ihrer Förderpolitik, einschließlich gesetzgeberischer Maßnahmen, laufend zu überprüfen und effizienter zu gestalten. Auf diese Weise ließen sich zusätzliche Mittel für die Förderung innovativer Energieforschung schaffen.

³¹⁾ Wissenschaftsrat: Stellungnahme zur Denkschrift der Deutschen Forschungsgemeinschaft: Perspektiven der Forschung und ihrer Förderung, 1997-2001, in: Empfehlungen und Stellungnahmen 1997, Köln 1998, Bd.I, S. 7 ff.

Bei der Betrachtung des Verhältnisses von institutioneller zu Projektförderung ist nach Art der Einrichtungen und Ausrichtung der Forschung zu unterscheiden. Grundsätzlich ist festzuhalten, daß die zur Wahrung der Konkurrenzfähigkeit notwendige Flexibilität in der inhaltlichen Schwerpunktsetzung der Forschung an den Hochschulen wie den außeruniversitären Forschungseinrichtungen nur bei einem angemessenen Anteil von Drittmitteln zu garantieren ist. Auf der anderen Seite erschwert jedoch eine unzureichende Grundfinanzierung die erfolgreiche Drittmittelwerbung. So bemühen sich die besonders in der Grundlagenforschung aktiven Hochschulen angesichts einer zunehmend mangelhaften Grundausstattung verstärkt um die Einwerbung von Drittmitteln, sind aber häufig nicht in der Lage, die für eine erfolgreiche Antragstellung notwendigen Vorleistungen aus der zur Verfügung stehenden Grundausstattung zu erbringen. Hier kann die hochschulinterne leistungsabhängige Zuweisung zusätzlicher Mittel³²⁾ einen wichtigen Beitrag zur Stärkung kompetitiver Forschung leisten.

Auf Verzerrungen im Wettbewerb um Projektfördermittel zwischen den außeruniversitären Forschungseinrichtungen hat der Wissenschaftsrat bereits in seiner Stellungnahme zur außeruniversitären Materialwissenschaft hingewiesen. Solche Verzerrungen, die zum Teil auch die Hochschulen betreffen, werden durch unterschiedlich hohe Anteile der institutionellen Förderung hervorgerufen.³³⁾ Auch in bezug auf die Energieforschung, wo insbesondere auf dem Gebiet regenerativer Energien eine Vielzahl unterschiedlich finanzierter außeruniversitärer Forschungseinrichtungen und Hochschulen aktiv ist, ist diese Entwicklung festzustellen. Während in den anwendungsnahen Forschungsbereichen ein hoher Anteil insbesondere industrieller Drittmittel im Sinne eines zügigen Transfers in die Praxis wünschenswert ist, sichert eine angemessene Grundfinanzierung die notwendige langfristige Perspektive im Grundlagenbereich und schafft gleichzeitig vergleichbare Wettbewerbsbedingungen zwischen den Einrichtungen.

³²⁾ Vgl. dazu Wissenschaftsrat: Thesen zur Forschung in den Hochschulen, in: Empfehlungen und Stellungnahmen 1996, Bd. I, Köln 1997, S. 7-54, hier S. 44-48.

³³⁾ Stellungnahme zur außeruniversitären Materialwissenschaft, a.a.O., S. 87.

B.III. Transfer und Akzeptanz

III.1. Wissens- und Technologietransfer

Ausgangslage

Die mit den Stichworten Forschung und Lehre sowie Heranbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses bezeichneten klassischen Aufgaben von Universitäten werden seit längerem ausgeweitet und ergänzt. So werden die Ergebnisse von Wissenschaft und Forschung "zunehmend daran gemessen, wie sie sich in die Anwendung überführen lassen".⁷³ Dieser Erwartung sehen sich auch außeruniversitäre Forschungseinrichtungen mit Schwerpunkten in der Energieforschung ausgesetzt, seien sie nun traditionell anwendungsorientiert oder aber stärker in der Grundlagenforschung tätig. Zu den "neuen" Aufgaben zählt damit auch der Wissens- und Technologietransfer.³⁵⁾ Von Wissenschaftlern, die in der Energieforschung tätig sind, wird deshalb erwartet, daß sie die Anwendung und Umsetzung von Forschungsergebnissen aktiv fördern und - überwiegend in Kooperation mit Wirtschaftsunternehmen - sich mit vermarktungsfähigen Forschungsideen und Innovationen dem Wettbewerb um Drittmittel stellen.

Die mit Wissens- und Technologietransfer verbundenen forschungs- und technologiepolitischen Anforderungen an Einrichtungen und einzelne Wissenschaftler beruhen vor allem auf wirtschaftlichen Motiven. Technologietransfer bezeichnet die vielfältigen Formen des Austauschs von wissenschaftlich-technischem Wissen zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der daran beteiligten Partner.³⁶⁾ Deshalb können Hochschulen und öffentlich finanzierte Forschungseinrichtungen von diesem Austausch auch in wissenschaftlicher Hinsicht profitieren; primärer Zweck aber ist

⁷³⁾ Riesenhuber, Heinz: Geleitwort. In: Abramson, H. Norman et al.: Technologietransfer-Systeme in den USA und Deutschland, Stuttgart 1997, S. I.

³⁵⁾ Eine wissenschaftshistorische Analyse würde voraussichtlich ergeben, daß öffentlich finanzierte Energieforschung immer schon erhebliche Transferleistungen erbracht hat. Technologietransfer hat jedoch gegenwärtig in der Forschungs- und Technologiepolitik einen großen Stellenwert erlangt.

³⁶⁾ Abramson et al., a.a.O., S. 2.

die Steigerung der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit von Unternehmen durch Nutzung von neuem Wissen oder von Problemlösungen für innovative Produkte oder Dienstleistungen. Deren Vermarktung sichert die Existenz von Wirtschaftsunternehmen; dies reicht von kontinuierlicher Pflege und Verbesserung bereits eingeführter Produkte bis zur Durchsetzung völlig neuer Technologien. Im Lichte der gegenwärtigen Probleme am Arbeitsmarkt wird außerdem erwartet, daß mit einer Stärkung von Unternehmen Arbeitsplätze erhalten oder durch Neugründung zusätzlich geschaffen werden können.

Ein Blick auf die in Teil A dargestellten Gebiete und Felder der Energieforschung zeigt, daß vielfältige Bezüge zu direkter Anwendung und technischer Innovation ein traditionelles Kennzeichen der Energieforschung in Deutschland, namentlich in Maschinenbau und Elektrotechnik, sind. Deshalb ist es sinnvoll, einen Wissens- und Technologietransfer aktiv zu betreiben; dabei dürfen die anderen - nach institutionellem Typus unterschiedlichen - Aufgaben wissenschaftlicher Einrichtungen auf dem Gebiet der Energieforschung allerdings nicht beeinträchtigt werden. Es ist darüber hinaus zu beachten, daß in einzelnen Branchen der Energietechnik und -versorgung im Zuge der Umstrukturierung von Unternehmen seit Beginn der 90er Jahre interne FuE-Aktivitäten vermindert und auf diese Weise sowohl die Möglichkeiten zu eigenständiger Forschung erschwert als auch die Kooperationsfähigkeit beeinträchtigt wurden.

Aufgrund der neuen oder weiterentwickelten Instrumente in Hochschulen und Forschungseinrichtungen läßt sich heute von Elementen eines sich herausbildenden Systems des Wissens- und Technologietransfers sprechen. Diese Entwicklung wurde von Bund, Ländern und wissenschaftlichen Einrichtungen mit zahlreichen Initiativen gefördert; dazu zählen auch Studien und Konzepte, die in den zurückliegenden Jahren erarbeitet wurden und unvermindert aktuell sind.³⁷⁾ Vor diesem Hintergrund werden im folgenden die wichtigsten Instrumente des Transfers und

³⁷⁾ Beise, Marian et al.: Technologietransfer an kleine und mittlere Unternehmen. Analysen und Perspektiven für Baden-Württemberg, Baden-Baden 1995. Kultusministerkonferenz: Innovationstransfer Hochschule/ Wirtschaft, Positionspaper Dezember 1997. Harhoff, Dietmar et al.: Innovationsaktivitäten kleiner und mittlerer Unternehmen. Ergebnisse des Mannheimer Innovationspanels, Baden-Baden 1996.

der wirtschaftlichen Nutzung von Forschungsergebnissen mit Blick auf die Energieforschung skizziert.

(1) Gründung von Technologieunternehmen

Als ein vergleichsweise neues Instrument zur effektiven wirtschaftlichen Nutzung von wissenschaftlichem Wissen und von aktuellen Forschungsrichtungen gilt die Gründung von Technologieunternehmen. Darauf richten sich in einzelnen Disziplinen - gegenwärtig vor allem in der Biotechnologie sowie in den Informations- und Kommunikationstechnologien - ausgeprägte Hoffnungen zur Stimulierung technischer Innovationen mit hohem Markterfolg, weil dort Gründer mit hohem persönlichen Engagement neue Produkte und Dienstleistungen entwickeln und vermarkten. Derartige Unternehmen verfügen über eine hohe Flexibilität und verzeichnen nachweislich vor allem in den USA und zum Teil auch schon in Europa zahlreiche Erfolge. Aufgrund der hohen Erwartungen aus volkswirtschaftlicher und beschäftigungspolitischer Sicht an die Gründung von Technologieunternehmen wurden wissenschaftliche Begleituntersuchungen durchgeführt und Förderprogramme aufgelegt.³⁸⁾ Auch die Aktivierung privaten Risikokapitals ist gelungen.

Vor diesem Hintergrund hat die Zahl der Ausgründungen technologieorientierter Unternehmen in den letzten Jahren deutlich zugenommen. Außeruniversitäre Einrichtungen verzeichneten im Jahr 1997 167 Ausgründungen, im Vergleich zu 87 (1996) und nur 30 (1990); außerdem haben zahlreiche der dort tätigen Wissenschaftler Gründungsabsichten. Auch bei der Zahl der Ausgründungen aus Hochschulen gab es erhebliche Zuwächse. Die jährliche Zahl der Unternehmensausgründungen hat sich von 1990 bis 1996 mehr als verdoppelt. 1996 haben ca. 1.000 Hochschulwissenschaftler, Studenten und Absolventen rund 700 technologieorientierte Unternehmen gegründet.³⁹⁾

(2) Patentierung von Forschungsergebnissen

³⁸⁾ Kulicke, Marianne; Wupperfeld, Udo: Beteiligungskapital für junge Technologieunternehmen. Ergebnisse eines Modellversuchs, Heidelberg 1996.

³⁹⁾ Quelle: ATHENE-Studie der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Technologie- und Gründerzentren e.V., Mai 1998.

Patente dokumentieren ein Forschungsergebnis und befugen den Inhaber exklusiv zur Nutzung der darin anerkannten Erfindung. In Patenten schlagen sich also - neben oder zusätzlich zu Publikationen - erfolgreiche Arbeiten in Forschung und Technologie nieder. Ein wichtiges Ziel von Bund und Ländern zur Stärkung der Innovationsfähigkeit des deutschen Wissenschaftssystems bestand in den vergangenen Jahren darin, die Patentaktivitäten der Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen zu stimulieren, die Zahl der Patentanmeldungen zu erhöhen und die wirtschaftliche Verwertung von Patenten anzuregen.⁴⁰⁾ Dazu wurden grundlegende Untersuchungen durchgeführt und gezielte Fördermaßnahmen ergriffen, um eine rasche Verwertung von Forschungsergebnissen zu erzielen, zunächst unabhängig davon, welchen Partnern die Vermarktung in wirtschaftlicher Hinsicht zugute kommt.⁴¹⁾ Zu den wichtigsten Aktivitäten zählen:

- Die von Bund und Ländern gemeinsam finanzierte Patentstelle deutsche Forschung der Fraunhofer-Gesellschaft berät Erfinder und Forschungseinrichtungen in Erfindungs- und Patentangelegenheiten und unterstützt sie bei der schutzrechtlichen Sicherung und Verwertung.
- Das breit angelegt Verbundprojekt des BMBF zur Innovationsstimulierung der deutschen Wirtschaft (INSTI) zielt auf eine schnelle Umsetzung von Forschungs- und Entwicklungsergebnissen in marktfähige Produkte. Daran sind 32 Einrichtungen des Erfindungs- und Patentwesens beteiligt. Über diese Initiative wird auch eine Patentaktion für kleine und mittlere Unternehmen gefördert. Schließlich unterstützt die INSTI-Verwertungsaktion seit September 1998 den "Innovation Market". Dabei handelt es sich um einen von der Deutschen Börse und der Kreditanstalt für Wiederaufbau betriebenen Internet-Marktplatz für Innovationen mit hohem Erfolgspotential.

⁴⁰⁾ Vgl. BLK: Materialien zur Bildungsplanung und Forschungsförderung, Heft 56, Juni 1997.

⁴¹⁾ BMBF: Patentwesen an Hochschulen, Bonn 1996; Hochschulrektorenkonferenz: Zum Patentwesen an den Hochschulen, Bonn 1997.

Eine Patentierung geeigneter Forschungsergebnisse ist in der Mehrzahl der technologisch orientierten Gebiete der Energieforschung ein sinnvolles Mittel zur wirtschaftlichen Nutzung und Vermarktung neuer technischer Lösungen. Eine Auswertung der Aktivitäten der besuchten oder angehörten Hochschulen und Forschungseinrichtungen zeigt, daß Wissenschaftler aus nahezu sämtlichen Einrichtungen im Zeitraum 1994-1996 Patente angemeldet haben (vgl. Teil C)⁴²⁾: die Anmeldungen von Hochschulen liegen in diesem Zeitraum zwischen 4 und 20 Patenten, die von außeruniversitären Einrichtungen weisen eine noch wesentlich größere Bandbreite auf (zwischen 2 und 50 Anmeldungen).

(3) Beratungs- und Gutachtertätigkeit, Durchführung von Forschungsprojekten, Personalaustausch

Der Wissens- und Technologietransfer zwischen Personen, Institutionen und Wirtschaftsunternehmen, aber auch öffentlichen Einrichtungen hat häufig informellen oder kurz- und mittelfristigen Charakter. Er erlaubt gerade in der Energieforschung die zielgerichtete Lösung spezieller Probleme und bildet die Grundlage für eine Etablierung formellerer Beziehungen z.B. in Forschungsprojekten. Wissenschaftler können diese Tätigkeit sowohl unentgeltlich bzw. ehrenamtlich (hierzu zählt auch die Mitarbeit in Verbänden) als auch in Nebentätigkeit durchführen. Ein weiteres wichtiges Instrument dieses "Transfers über Köpfe" ist der Personalaustausch. Während die Einstellung von jungen Naturwissenschaftlern und Ingenieuren in Unternehmen die verbreitete und erfolgreiche Form ist, bereitet der (befristete) Austausch von erfahrenen und "etablierten" Wissenschaftlern häufig noch Probleme.⁴³⁾

(4) Einrichtungen für Transfer und Verwertung

Fast alle Universitäten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen, die auf dem Gebiet der Energieforschung tätig sind, verfügen über Einrichtungen, die den Technologietransfer unterstützen sollen; d.h. sie sollen zur Entlastung der Wissen-

⁴²⁾ Mit Ausnahme der Einrichtungen mit Schwerpunkten in Systemanalyse, Politikberatung und Technikfolgenabschätzung.

schaftler beitragen, indem sie diese beraten und ihnen Aufgaben, die nicht die Forschung selbst betreffen, abnehmen. Bei allen Unterschieden hinsichtlich Größe sowie finanzieller und personeller Ausstattung umfassen ihre Aufgaben in der Regel⁴⁴⁾

- Information und Beratung
- Vermittlung von Kontakten zwischen Wissenschaft und Wirtschaft einschließlich der Funktion einer Anlaufstelle
- Messebeteiligungen und Präsentationen
- Abwicklung und Koordination von Forschungs- und Entwicklungsprojekten, Projektmanagement
- Schutzrechtsberatung
- Förderung von Existenzgründungen
- Vermittlung von Personaltransfer Hochschule/Wirtschaft

Neben diesen eher auf Beratung und Unterstützung von Wissenschaftlern und Anwendern gerichteten Institutionen wird zunehmend eine gezielte Verwertung von Innovationen als vordringliche Aufgabe betrachtet; zu diesem Zweck können das Aufgabenspektrum von Transferstellen erweitert oder aber zusätzlich neue Verwertungseinrichtungen gegründet werden.

Stellungnahme

Der Wissenschaftsrat empfiehlt, den Wissens- und Technologietransfer aus öffentlich finanzierten wissenschaftlichen Einrichtungen erheblich kompetenter zu betreiben und noch zielgerichteter zu organisieren. In der Energieforschung, einem Gebiet mit hoher ökonomischer und ökologischer Bedeutung, gilt es, technologisch wertvolle Arbeitsergebnisse effektiver in Anwendungen zu überführen. Sowohl die Institutionen als auch die dort tätigen Wissenschaftler sollten daher zur Optimierung beitragen.

⁴³⁾ Vgl. Wissenschaftsrat: Thesen zur Forschung in den Hochschulen, in: Empfehlungen und Stellungnahmen 1996, Köln 1997, Bd. I, S. 49 f.

⁴⁴⁾ Vgl. Kultusministerkonferenz: Innovationstransfer Hochschule/Wirtschaft, a.a.O., S. 13.

Wissens- und Technologietransfer ist ein wesentlicher Bestandteil des Aufgabenspektrums von Energieforschung. Eine über die Gewinnung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse hinausgehende Verpflichtung zur Nutzbarmachung von Ergebnissen der Energieforschung ergibt sich aus dem Umstand, daß die Mehrzahl der Forschungsarbeiten in Hochschulen und Forschungseinrichtungen mit öffentlichen Mitteln finanziert werden; die wirtschaftlich oder ökologisch verwertbaren Ergebnisse sollten deshalb möglichst rasch der Allgemeinheit zugute kommen.

Die Umsetzung von Forschungsergebnissen liegt in der persönlichen Verantwortung des Wissenschaftlers; er muß die Chancen, die seine Arbeiten eröffnen, nutzen. Ob diese verwertet oder aber - etwa durch unterlassene Patentierung oder vorzeitige Veröffentlichung - vertan werden, darf ihm nicht gleichgültig sein.

Vor diesem Hintergrund hat der BMBF die Bestimmungen für seine Zuwendungen zur Projektförderung reformiert. Sie verpflichten den Zuwendungsempfänger zur Verwertung des mit öffentlichen Mitteln geschaffenen neuen Wissens. Hierfür hat dieser im Regelfall die volle Verfügungsmacht über die Ergebnisse und kann auch ausschließliche Lizenzen vergeben. Die bisherige Beteiligung der öffentlichen Hand an den durch die Verwertung der Ergebnisse erzielten Einnahmen wird abgeschafft.

Eine wirtschaftliche Nutzung der mit privatem Kapital finanzierten Energieforschung ist fast immer beabsichtigt. Wirtschaftsunternehmen, die in der Energietechnik und -versorgung tätig sind, sollten stärker als bisher die hohen Potentiale der Energieforschung in Hochschulen und Forschungseinrichtungen nutzen und sich an Forschungsvorhaben und -verbänden beteiligen.⁴⁵⁾

Innovationsprozesse dienen der Entwicklung neuer oder verbesserter Produkte und Verfahren mit der Absicht, sie zu verwerten bzw. zu vermarkten. Sie beruhen auf komplexen Wechselwirkungen zwischen Grundlagen- und angewandter Forschung sowie experimenteller Entwicklung einerseits und wissenschaftsexternen Einflußfaktoren wie Unternehmensstrategien, Marktanforderungen, aber auch ge-

⁴⁵⁾ Vgl. Kap. B.I.4. Energieforschung in Unternehmen und B.II.5. Industrie.

sellschaftlichem Umfeld andererseits. Aufgrund dieses vielschichtigen Charakters von Innovationsprozessen, in die öffentlich und privat finanzierte Forschung einbezogen ist, werden von Wissenschaftlern vielfältige Leistungen erbracht: Initiierung und Durchführung von mittel- und längerfristigen Forschungs- und Entwicklungsprojekten, sei es als Auftragsforschung oder in nationalen und internationalen Kooperationen sowie Beratungs- und Erfindungstätigkeit. Wegen der Vielfalt von Verpflichtungen, die bei Hochschulangehörigen noch um außerhalb der Forschung liegende Aufgaben ergänzt wird, ist eine Entlastung der Wissenschaftler von Verwaltungs- und Managementfunktionen durch Transfer- und Verwertungsinstanzen dringend erforderlich.

Im Prozeß des Technologietransfers und der Vermarktung sind die Interessen der wissenschaftlichen und der unternehmerischen Seite jeweils angemessen zu berücksichtigen. Bilden technische Innovationen auch den Kern neuer Produkte, so wird der durch Wissens- und Technologietransfer angestrebte wirtschaftliche Erfolg maßgeblich von den Strategien der Unternehmen und von den Marktbedingungen beeinflusst; unternehmerische Aktivität einschließlich eines häufig hohen Kapitaleinsatzes sind also weitere grundlegende Voraussetzungen für einen Markterfolg, auf die Wissenschaftler in der Regel keinen Einfluß haben. Vor diesem Hintergrund erscheint eine Teilung der Aufgaben und Funktionen unter den einzelnen Partnern angezeigt, um Transfer primär in den technologisch orientierten Gebieten der Energieforschung erfolgreich leisten zu können:

- Für die Energieforschung in Hochschulen und außeruniversitären Einrichtungen müssen auch weiterhin gute Bedingungen gegeben sein, um Grundlagenforschung durchführen zu können. Als eine ebenso bedeutsame Aktivität gelten Forschungsarbeiten mit dem Ziel, technisch neue oder verbesserte Produkte und Verfahren zu entwickeln, die wirtschaftlich verwertbar und/oder ökologisch von hohem Nutzen sind. In der Energieforschung können also die Ziele "Erzeugung neuen wissenschaftlichen Wissens" und "Erfindung neuer technischer Lösungen" als gleichwertig und komplementär bezeichnet werden.
- Sowohl junge als auch etablierte Wirtschaftsunternehmen sollen sich finanziell und mit eigenen Arbeiten an FuE-Projekten beteiligen; ihnen fällt außerdem die

Vermarktung der Innovationen zu, sei es als Integration in bestehende Produktgruppen oder Etablierung neuer Technologien.

- Zwischen der mit öffentlichen Mitteln finanzierten Energieforschung auf der einen Seite und der unternehmerischen Verwertung von neuen Technologien, Produkten und Verfahren auf der anderen Seite sind verschiedene Einrichtungen angesiedelt, die ebenfalls eine aktive Rolle im Transferprozeß spielen müssen:
 - o Überwiegend mit öffentlichen Mitteln finanzierte Dienstleistungseinrichtungen sollen für Wissenschaftler Beratungs-, Management- und Verwertungsfunktionen übernehmen. Auf diese Weise können sie die Interessen wissenschaftlicher Institutionen nach außen vertreten.
 - o Speziell in der Vermarktung von Forschungsergebnissen als Lizenzierung oder vor allem bei Unternehmensgründungen fällt Unternehmensberatern, Banken und Kreditinstituten, Venture-Kapital- sowie generell Beteiligungsgesellschaften und Fonds eine zentrale Rolle zu. Ihre Beratungsleistungen und Finanzierungsangebote beziehen sich primär auf unternehmerische Aktivitäten, ein Gebiet, auf dem herkömmliche Transferstellen in aller Regel weder Erfahrung noch Finanzierungsmöglichkeiten besitzen.

Insgesamt wird damit deutlich, daß Wissens- und Technologietransfer auf einem lebhaften, kontinuierlich zu erneuernden, wechselseitigen Austausch zwischen unterschiedlichen Partnern beruht. Erfahrungen in den USA und zunehmend auch in Europa belegen, daß die Bildung regionaler "Cluster", d.h. von "vernetzten" Forschungs- und Technologieregionen, in denen Hochschulen, außeruniversitäre Forschungseinrichtungen, junge und etablierte Wirtschaftsunternehmen sowie Berater und Finanzinstitute und schließlich staatliche Akteure sich als Partner im Wissens- und Technologietransfer verstehen, außerordentlich förderlich ist. Eine derartige Vernetzung und wechselseitige Stärkung auf regionaler Ebene ist wiederum Voraussetzung für eine bessere überregionale Wahrnehmbarkeit und Kooperation mit Partnern im In- und Ausland. Bei der Ansiedlung von Unternehmen und deren Kooperation mit Hochschulen und Forschungseinrichtungen können auch sog. Technologieparks mit Räumlichkeiten und technischer Infrastruktur eine wichtige Rolle spielen.⁴⁶⁾

Vor diesem Hintergrund muß auf dem Gebiet der Energieforschung und -technik ein noch systematischer und effektiver betriebener Wissens- und Technologietransfer auf verschiedenen Ebenen angesiedelt sein:

(1) Unternehmensgründungen

Unternehmensgründungen als sog. "Existenzgründungen" durch junge gut ausgebildete Wissenschaftler oder durch "etablierte" Wissenschaftler unter zusätzlicher Beteiligung unterschiedlicher Partner, sind ein herausragendes Instrument des effizienten Transfers und der Verwertung von Technologien und Dienstleistungen. Von zentraler Bedeutung ist eine Ansiedlung solcher Unternehmen im Umfeld von Hochschulen und Forschungseinrichtungen sowie eine dauerhafte und enge Kooperation mit ihnen. Der Wissenschaftsrat empfiehlt, Unternehmensgründungen in sämtlichen technologisch geeigneten Bereichen der Energieforschung größere Aufmerksamkeit seitens staatlicher Förderer und privater Kapitalgeber zu schenken.

⁴⁶⁾ Vgl. Nature, Vol. 395, 24. September 1998: Taking knowledge from bench to bank; How to turn R into D and get paid for it. From research to commercial benefits; S. 409-414.

Um die Bedingungen für junge Wissenschaftler als Unternehmensgründer zu verbessern, wurden in den zurückliegenden Jahren zahlreiche Förderinstrumente und Angebote entwickelt, z.B. Informations- und Lehrveranstaltungen bis hin zur Einrichtung von Lehrstühlen für Unternehmensgründungen, Gründermessen etc. Derartige Beratungsangebote in Verbindung mit Fördermöglichkeiten für geeignete Unternehmenskonzepte müssen für Studierende und Wissenschaftler kontinuierlich zugänglich sein und sind am besten innerhalb von Technologieregionen zu organisieren. Insgesamt sollte das Ausbildungsleitbild in Hochschulen stärker auf die berufliche Selbständigkeit ausgerichtet werden.

Die Möglichkeiten für Wissenschaftler, die in Hochschulen und Forschungseinrichtungen angestellt sind und bleiben wollen, sich aktiv an privaten Unternehmen zu beteiligen, sollten weiter verbessert werden.

Privates Risikokapital und ergänzende Finanzierungsangebote von Bund und Ländern scheinen gegenwärtig in hinreichendem Ausmaß verfügbar zu sein. Jetzt kommt es darauf an, die Rahmenbedingungen für Unternehmensgründungen weiter zu verbessern.

(2) Patente

Patentanmeldungen sind in der Energieforschung durchaus verbreitet, die Zahl der Anmeldungen jedoch - bei allen Unterschieden - noch relativ gering und insofern noch ausbaufähig. Wissenschaftliche Einrichtungen sollten daher ihre Patentaktivitäten zur Stimulierung von Innovationen steigern. Patente sind in solchen Gebieten der Energieforschung, die sich dafür eignen, nicht als "zufällige" Resultate von Forschungsarbeiten zu betrachten, sondern wie Publikationen ein Ziel von FuE-Projekten. Bereits während der Forschungsarbeiten ist in Verbindung mit Beratungsstellen zu prüfen, ob sich technisch bedeutsame Innovationen mit Marktrelevanz abzeichnen.

Um Patentanmeldungen zu erleichtern erscheint erforderlich:

- eine Einführung der Neuheitsschonfrist in den Staaten der Europäischen Union, die für die jeweils eigene Patentanmeldung unschädlich ist,⁴⁷⁾
- eine weitere Verbesserung der Patentberatung vor allem innerhalb von Hochschulen.

(3) Beratungs- und Gutachtertätigkeit, Forschungsprojekte, Personaltransfer

Im Technologietransfer dominieren bisher Tätigkeiten wie Teilnahme an Forschungsprojekten, Beratung und Gutachtertätigkeit sowie Auftragsforschung; sie sind im Blick auf Dauer, Umfang und Personaleinsatz außerordentlich vielgestaltig.

Der Wissenschaftsrat empfiehlt, die beiden darin enthaltenen Formen des Transfers auszubauen:

⁴⁷⁾ Dadurch ist die eigene Veröffentlichung in einem gewissen Zeitraum vor der Patentanmeldung keine Beeinträchtigung einer Patentanmeldung. Vgl. Wissenschaftsrat: Stellungnahme zur außeruniversitären Materialwissenschaft, Köln 1996, S. 102.

- die Durchführung von Projekten und Forschungskooperationen im Rahmen einer Hochschule oder wissenschaftlichen Einrichtungen und
- private Aktivitäten von Wissenschaftlern auf der Basis einer Nebentätigkeit oder durch Nutzung des Hochschullehrerprivilegs bei Verwertung von Patenten.

Für Transferaktivitäten der Wissenschaftler als Angehörige einer Hochschule oder Forschungseinrichtung werden folgende Empfehlungen ausgesprochen:⁴⁸⁾

- Die Aktivitäten von Hochschullehrern zur gezielten wirtschaftlichen Verwertung von Forschungsergebnissen sollten generell stärker anerkannt werden. So sollten z.B. Patente als ein Entscheidungskriterium bei der Besetzung technologieorientierter Professorenstellen Berücksichtigung finden.
- Eine Anerkennung besonderer Transferaktivitäten kann sich auch im Lehrdeputat ausdrücken und sollte sich in der Vergabe von Forschungsfreisemestern für technologiepolitisch relevante Industriekooperationen niederschlagen.
- Finanzielle Erträge aus FuE-Projekten sollen nach dem Prinzip einer "internen Drittelung" den unmittelbar an der Erfindung beteiligten Wissenschaftlern, der Arbeitseinheit sowie der Hochschule bzw. wissenschaftlichen Einrichtung erhalten bleiben (z.B. zur Anschubfinanzierung weiterer Transfer-Projekte).
- Es sollten Anreize zur Durchführung von Auftragsforschung in Hochschulen und Forschungseinrichtungen z.B. über neue Gehaltsstrukturen bzw. -anteile geschaffen werden.

(4) Institutionen zur Beratung, Vermittlung und Verwertung

Jede wissenschaftliche Einrichtung mit geeigneter technologischer Ausrichtung in der Energieforschung sollte über Transfer- und Beratungsstellen verfügen oder auf regionaler Ebene Zugang zu solchen haben, die auch hinsichtlich Patentierung (Recherchen, Anmeldung) beraten. Allerdings erfüllen die Technologietransfer betreibenden Einrichtungen der meisten Hochschulen ihre Aufgaben nicht in befriedi-

⁴⁸⁾ Zu einigen der folgenden Empfehlungen vgl. Kultusministerkonferenz: Innovations-transfer Hochschule/Wirtschaft.

gender Weise. Die Gründe dafür können angesichts der Vielfalt der nach Innen und Außen wirkenden Aufgaben und der zu betreuenden Disziplinen in der Überforderung des Personals liegen. In der Regel handelt es sich um Stellen, deren Dotierung mit Beraterpositionen in Unternehmen nicht konkurrenzfähig ist.

Wenn Hochschulen, wissenschaftliche Einrichtungen und Wissenschaftler die Lizenzierung und Vermarktung von technischen Innovationen und Patenten wesentlich verstärken, so bedarf es dabei effektiver Unterstützung. Es erscheint sinnvoll, entweder in enger Verbindung mit bestehenden Transfereinrichtungen oder aber als unabhängige Institutionen Verwertungseinrichtungen zu gründen, die Wissenschaftler in der Verwertung und Vermarktung von Erfindungen unterstützen. Sie sollten haushalts- und dienstrechtlich nicht als Einrichtung innerhalb einer wissenschaftlichen Institution angesiedelt sein und regional für mehrere wissenschaftliche Institutionen agieren, wobei diese Träger der Verwertungseinrichtung sein können. Eine Anschubfinanzierung mit öffentlichen Mitteln ist notwendig, bei erfolgreicher Arbeit erscheint langfristig eine (Mit-)Finanzierung durch Anteile an Verwertungserlösen möglich.

III.2. Akzeptanz von Energietechnik und -forschung in der Öffentlichkeit

"Technikakzeptanz" zählt zu jenen Phänomenen, bei deren wissenschaftlicher Erfassung keine spezifischen Instrumente zur direkten Messung zur Verfügung stehen. Es bedarf geeigneter Indikatoren, um Technikeinstellungen und Technikakzeptanz auf indirektem Wege messen und erfassen zu können. Differenziert werden muß dabei zwischen unterschiedlichen Gruppen der Öffentlichkeit und zwischen unterschiedlichen sozialen Kontexten, in denen Einstellungen und Bewertungen zu technischen Fragen eine Rolle spielen.⁴⁹⁾

Mangelnde Akzeptanz technischer Innovationen oder von Technikentwicklungen mit nicht vorhersehbaren Folgen sind keine spezifisch modernen Phänomene.

⁴⁹⁾ Siehe generell Ortwin Renn/Michael M. Zwick: Risiko- und Technikakzeptanz, hrsg. von der Enquête-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt" des 13. Deutschen Bundestages, Berlin/Heidelberg 1997.

Vielmehr bieten die Einstellungen der Menschen zur Technik ein über die Jahrhunderte hinweg vielschichtiges und oftmals auch widersprüchliches Bild. Es basiert auf der komplexen Wechselwirkung zwischen technischer und sozialer Welt und wird zudem geprägt durch die zunehmende Geschwindigkeit von Veränderungen sowie die Globalität ihrer Auswirkungen.

Seit den 60er Jahren geht die Zahl der Technikbefürworter in Deutschland kontinuierlich zurück und zwar nicht zugunsten einer oppositionellen, sondern einer ambivalent-skeptischen Haltung.⁵⁰⁾ Der Anstieg skeptischer Technikeinstellungen dürfte dabei nur zum Teil durch Störfälle und Technikkatastrophen beeinflusst sein. Als weitere Erklärungsgründe werden zudem der seit dem Ende der 60er Jahre einsetzende Wertewandel sowie eine neuartige und besonders kritische Behandlung von Technik, Technikrisiken und Technikunfällen in den Medien herangezogen.

Neueste Untersuchungen kommen zu dem Ergebnis, daß es in Deutschland keine generelle Technikfeindlichkeit gibt. Die Studien lassen jedoch pauschale, emotional geleitete Urteile erkennen, die stark nach Techniken und Anwendungsbereichen differenziert sind. Insbesondere im Hinblick auf Konsumtechnik (Haushalts-, Freizeit-, Informations- und sonstige Produkttechnik) und Technik am Arbeitsplatz kann eher von einer großen Technikfreundlichkeit der Deutschen ausgegangen werden. Techniken, die im Arbeitsleben als funktional geschätzt und deren Produkte und Dienstleistungen als Bereicherung des Lebens angesehen werden, können bei ihrer Wahrnehmung als externe Technik jedoch auf Ablehnung stoßen. Akzeptanzprobleme bereiten technische Anlagen und Produkte häufig erst dann, wenn sie den Menschen in ihrer unmittelbaren Umgebung als "Nachbar" begegnen. Werden Bewertungen aufgrund getrennter Lebenssphären nach unterschiedlichen Wertekategorien vorgenommen, kommt es oftmals zu einer unterschiedlichen Einstufung der gleichen Techniken, je nachdem, ob man sich der Technik aus dem Blickwinkel der Arbeitssphäre, der Konsumsphäre oder der externen Beobachtersphäre nähert.

⁵⁰⁾ Vgl. Elisabeth Noelle-Neumann/ J. Hansen: Technikakzeptanz in drei Jahrzehnten - in der Bevölkerung und in den Medien. Ein Beitrag zur Medienwirkungsforschung, in: J. Krüger/S. Ruß-Mohl (Hrsg.): Risikokommunikation. Technikakzeptanz, Medien und Kommunikationsrisiken, Berlin 1991.

Unter den externen Großtechnologien gibt es Technikfelder, die nicht nur in der deutschen Gesellschaft umstritten sind. Zu den Techniken und Anwendungsbereichen, die ein hohes Maß an sozialer Wünschbarkeit besitzen und in der Bevölkerung breite Zustimmung genießen, gehören (neben minimalinvasiver Chirurgie, Haushalts- und Massenkommunikationstechnologien und umweltverträglichen Verkehrsmitteln) alternative, sogenannte "weiche" Formen der Energieerzeugung. Sie sind mit hohen Nutzenerwartungen verbunden, gleichzeitig werden ihnen geringe Schadens- bzw. Katastrophenpotentiale zugerechnet.

Auf große Unsicherheit, bisweilen auch starke Ressentiments in Teilen der Bevölkerung stoßen dagegen energiewirtschaftliche Projekte mit Schwerpunkt Kernenergie, die nicht nur hierzulande, sondern - in unterschiedlichem Ausmaß - weltweit umstritten ist. Die öffentliche Diskussion um Kernenergie spitzt sich vor allem auf drei Themen zu:

- die energiepolitische und wirtschaftliche Notwendigkeit der Kernenergienutzung,
- das großen Teilen der Bevölkerung unangemessen hoch erscheinende Risiko- und Katastrophenpotential,
- die als prekär empfundene Situation der Behandlung radioaktiver Abfälle, gleichgültig, ob es sich um Wiederaufbereitungs-, Zwischen- oder Endlagerungsstrategien handelt.

Sowohl die Nutzung der Kernenergie als auch die Abfallbehandlung von nuklearem Material werden unter Gesichtspunkten der Risiken für die Gesundheit, auch mit Blick auf die nachfolgenden Generationen, diskutiert. Gemessen daran spielt die Vermeidung von CO₂-Emissionen durch die Kernenergienutzung und den Verzicht auf den Ausbau fossil betriebener Kraftwerke in der öffentlichen Diskussion nach wie vor nur eine untergeordnete Rolle. Die negative Beurteilung der Kerntechnik erstreckt sich statt dessen teilweise auch auf die Kernforschung in Deutschland. Gleichzeitig haben regenerative Formen der Energiegewinnung von der anhaltenden Kernenergiediskussion, aber auch vom klimaschutzbedingt schlechten Image der konventionellen, auf fossiler Basis arbeitenden Kraftwerke profitiert.

Die Akzeptanz von zukunftsweisenden Entscheidungen über innovative, auch risikobehaftete Technik ist in starkem Maße von der Einsicht des Einzelnen abhängig. An der öffentlichen Technik-Debatte sind verschiedene Akteure oder gesellschaftliche Teilsysteme beteiligt: Unternehmen (ökonomisches System), organisierte und nicht-organisierte Öffentlichkeit (soziales System), Politik, Verwaltung und Rechtsprechung (politisch-administratives System), Wissenschaftler und Experten aus den Bereichen Technik und Sozialwissenschaften (Wissenschaftssystem) und schließlich die Massenmedien (intermediäres System). Insbesondere der Zusammenhang von Medienwirkung und Technikeinstellungen ist komplexer als gemeinhin unterstellt. Die Medien unterliegen dem Prozeß selektiver Realitätswahrnehmung und Wirklichkeitsrekonstruktion. Der Umfang der Berichterstattung über Technik nahm in den letzten beiden Jahrzehnten zu. Einhergehend mit einer Popularisierung von Technik nahm auch die Berichterstattung über Technik- und Risikokontroversen zu. Zu den Merkmalen dieser Berichterstattung gehört es, weniger der statistischen Höhe von Technikrisiken zu folgen, als vielmehr "schadensorientiert" vorzugehen. Das führt unter anderem dazu, daß in erster Linie die Nachteile einer Technik rezipiert werden.

In der Risikowahrnehmung und -einschätzung kann ein wichtiger, wenn auch nicht allein entscheidender Grund für Akzeptanz oder Ablehnung einer Technik gesehen werden. Einstellungen zu bestimmten Techniken sind oft Spiegelbilder der Einstellungen zu wahrgenommenen Risiken, die mit einer Technik verbunden werden. Die gesellschaftliche Debatte um Risiken kennt unterschiedliche Risikobewertungen. Dabei liegen naturwissenschaftlichen - sog. "objektiven" Risikodefinitionen - und alltagspsychologischen, qualitativen Risikoheuristiken verschiedene "Logiken" zugrunde. In aller Regel führen sie zu abweichenden Einschätzungen und einem je spezifischen Umgang mit Risiken. Nach der "objektiven" Definition werden Risiken als Produkt von mittlerer Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadenshöhe beschrieben.

Im sozialen System herrschen dagegen subjektive Risikodefinitionen vor, die normativ und emotional geprägt sind und sich als außerordentlich facettenreich er-

weisen. Im Gegensatz zu technischen Risikoexperten nehmen Laien Risiken als ein komplexes, mehrdimensionales Phänomen wahr, bei dem subjektive Verlufterwartungen eine Rolle spielen, aber auch der Kontext der riskanten Situation maßgeblich die Höhe der wahrgenommenen Gefahr (unabhängig von den gegen sie getroffenen Vorkehrungen) beeinflusst. Die meisten Menschen tendieren dazu, Risiken immer dann zu überschätzen, wenn sie sich einen Schadensfall als lebensbedrohliche Katastrophe vorstellen können, wenn sie wenig über die Ursachen und den Ablauf des risikoreichen Geschehens wissen, wenn ihnen das Risiko von außen aufgezwungen wird und wenn sie keine Möglichkeit erkennen, die Schadenswahrscheinlichkeit durch eigenes Handeln zu beeinflussen. Demgegenüber werden Risiken unterschätzt, wenn viele begrenzte Schadensfälle zu unterschiedlichen Zeiten und an verschiedenen Orten auftreten, man zudem glaubt, die Gefahrenquelle in ihren Ursachen, Abläufen und Wirkungen zu kennen, das subjektive Gefühl vorherrscht, auf das Geschehen Einfluß ausüben zu können und das Risiko freiwillig auf sich genommen wird.⁵¹⁾ Menschen sind - wie beispielsweise im Falle des Pkw und seiner Nutzung - eher bereit, Gefahren und Risiken zu tolerieren, wenn diesen ein entsprechend hoher Nutzen und alltagspraktischer Wert gegenübersteht.

Weite Teile der Öffentlichkeit empfinden ihr Risikoverständnis in sprachlicher wie in semantischer Hinsicht in den Medien adäquat angesprochen, weniger jedoch seitens jener Systeme, die mit "objektiven" Risikodefinitionen arbeiten, wie das ökonomische, politische und wissenschaftliche System. Bei der begrenzten Expertise, über die Laien verfügen, liegt der Schwerpunkt der Bewertung einer Nachricht oder Information nicht im Vertrauen, das der Nachricht als solcher entgegengebracht wird, sondern in der Vertrauenswürdigkeit des Übermittlers, der Nachrichtenquelle, der informierenden Institution oder den im Zeitgeist wurzelnden generalisierten Vertrauens- oder Mißtrauenstendenzen. Viele Kommunikationsprobleme mit der Öffentlichkeit entstehen möglicherweise deshalb nicht durch ein generelles Ver-

⁵¹⁾ Vgl. Franz Emanuel Weinert: Kommunikationsprobleme zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit, in: Max-Planck-Gesellschaft (Hrsg.): Berichte und Mitteilungen. Forscher und Forschungspolitik: Der Beitrag der Forscher zur forschungspolitischen Diskussion. Symposium der MPG Schloß Ringberg/Tegernsee, Mai 1991, S. 86.

trauensdefizit beispielsweise der Wissenschaft, sondern durch ungeeignete Kommunikationsstrategien der entsprechenden Institutionen.

Das politisch-administrative System schließlich hat die Aufgabe, die verschiedenen Interessen auszugleichen. Politik hat aus den gegebenen Erfordernissen und Restriktionen entscheidungsfähige Optionen zu erarbeiten, die die Perspektiven von ökonomischem, ökologischem und sozialem System und die unterschiedlichen Risikobewertungen gleichermaßen berücksichtigen müssen. Diesem System obliegt zudem die wichtige Funktion der administrativen Kontrolle von riskanten Technologien und unter Umständen der Sanktion (Justiz) und der Festlegung angemessener Kompensationen. Es ist nicht zuletzt ein Forum, in dem die unterschiedlichen Standpunkte, Werte, Interessen, aber auch Risikoeinschätzungen vorgebracht und ausgehandelt werden. Eine Mittlerrolle haben innerhalb dieses Gefüges diejenigen Institutionen übernommen, die die gesamtgesellschaftlichen Auswirkungen und Folgen technischer Entwicklungen untersuchen. Sie sind damit an der Schnittstelle von Wissenschaft und Öffentlichkeit tätig.

Stellungnahme

Die wahrgenommenen instrumentellen Vor- und Nachteile einer Technik spielen eine wesentlich geringere Rolle für die Mobilisierung von Gruppen und Individuen als die mit diesen Techniken verbundenen symbolischen Assoziationen. Die hohe Bedeutung, die emotionalen Dispositionen bei der Bewertung von Technologien zukommt, wird in der Technikakzeptanzdiskussion gemeinhin unterschätzt. Aus der Analyse der sozialen und politischen Prozesse, die zu Akzeptanzkonflikten führen, können Rückschlüsse für die unterschiedliche Aufnahme technikpolitischer Entscheidungen gezogen werden.

Ein Grund für die in vielen Fällen existierende Skepsis gegenüber Technik und bestimmten technischen Entwicklungen ist ein häufig mangelhafter, eher durch Emotionen als Fakten bestimmter Kenntnisstand über diesen Bereich. Der Entwicklung neuer Kommunikations- und Informationsstrategien kommt deshalb eine tragende Rolle zu. Ihr Ziel sollte in erster Linie in einer umfassenden und möglichst früh einsetzenden Wissensvermittlung liegen. Bereits in der schulischen Ausbildung muß

der Grundstein für ein solides Technikverständnis gelegt werden, dort muß es gelingen, für die Fortschritte in Wissenschaft und Technik zu interessieren und zu sensibilisieren. Über einen verstärkten Transfer wissenschaftlicher Erkenntnisse in die Öffentlichkeit kann dieser Aufklärungsprozeß sinnvoll fortgeführt werden, wobei neben dem Umfang der vermittelten Information auch ein Augenmerk auf die Qualität des Dialoges mit der Öffentlichkeit gelegt werden sollte. Sie sollte in den technischen Planungs- und Entwicklungsprozeß, aber auch bei der Bestimmung von künftigen Technologieleitbildern stärker als bisher einbezogen werden und auf diese Weise partizipieren können.

Mit Blick auf die Akzeptanzproblematik scheint die Schaffung einer stärkeren Vertrauensbasis zwischen Wissenschaft, Industrie, Öffentlichkeit und Politik im Sinne von mehrheitlich getragenen Entscheidungen und Lösungen unerlässlich. Dies erfordert als Leistung von allen Beteiligten gleichermaßen die Optimierung von Kommunikationsprozessen sowie der Außendarstellung, angefangen von der Vermeidung pejorativer Bezeichnungen für technologische Verfahren, über den Zieldiskurs bis hin zur Risikokommunikation bei technischen Störfällen. Mit dem Ziel, öffentliches Vertrauen zu schaffen, sollte auch die Wissenschaftsgemeinschaft versuchen, langfristige Strukturen für den Dialog zwischen wissenschaftlichem Sachverstand und Öffentlichkeit zu etablieren. Das Wissenschaftssystem, das für die interne Kommunikation eigene Regeln entwickelt und erfolgreich durchgesetzt hat, ist gefordert, angemessene Strukturen auch für die Kommunikation mit der Öffentlichkeit aufzubauen. In der sachgerechten und umfassenden Information der Öffentlichkeit über Forschung und ihre Ergebnisse sollte das erklärte Ziel dieser Kommunikation liegen. Eine Vermischung von wissenschaftlich belegten Aussagen und subjektiven Einschätzungen sollte in diesem Zusammenhang nicht stattfinden.

C. Einrichtungen der Energieforschung

Methodische Vorbemerkung

Dieser abschließende Teil der Stellungnahme enthält eine Darstellung derjenigen Einrichtungen der Energieforschung, mit denen sich die Arbeitsgruppe intensiver befaßt hat. Ende 1996 wurde eine erste Umfrage bei allen Universitäten, Fachhochschulen sowie einschlägigen außeruniversitären Forschungseinrichtungen durchgeführt, mit der ein erster Überblick über Umfang und thematische Orientierung von Forschung und Lehre im Energiebereich gewonnen werden konnte. 46 Universitäten, 53 Fachhochschulen sowie 37 außeruniversitäre Forschungseinrichtungen berichten in ihrer Antwort über eigene Aktivitäten in der Energieforschung. Einen Überblick über den Rücklauf gibt Übersicht 1. Ausgewählte Ergebnisse der Umfrage zu thematischen Schwerpunkten und Personaleinsatz in der Energieforschung sowie zu den dafür eingeworbenen Drittmitteln sind in den Tabellen im Anhang zusammengestellt. Damit liegt zum ersten Mal ein institutionenübergreifender Überblick über die Energieforschung in Deutschland vor.

Die Ergebnisse der Umfrage wurden auch dazu genutzt, diejenigen Einrichtungen auszuwählen, die näher betrachtet werden sollten. Aufgrund der Vielfalt und Breite der Energieforschung in Deutschland erschien es nicht sinnvoll, Vollständigkeit anzustreben. Statt dessen wurde eine Auswahl von im Bereich der Energieforschung aktiven Einrichtungen getroffen; es liegt keine Wertung darin, ob eine Einrichtung in die nähere Betrachtung einbezogen und im folgenden dargestellt wird oder dies nicht der Fall ist. Auch in nicht einbezogenen Einrichtungen wird leistungsfähige Energieforschung betrieben.

Übersicht 1: Rücklauf der 1. Umfrage zur Energieforschung

	Universitäten	Fachhoch- schulen	außeruniv. Institute
Angeschrieben	76	93	39
Rücklauf	73 (96 %)	87 (94 %)	39 (100 %)
davon <u>mit</u> Ener- gieforschung	46 (61 %)	53 (57 %)	37

In einer zweiten Befragung, die sich im Laufe des Jahres 1997 anschloß, wurden die ausgewählten Einrichtungen der Energieforschung um ergänzende Informationen gebeten. Auf dieser erweiterten Informationsgrundlage wurden im Zeitraum von April 1997 bis September 1998 Ortsbesuche in München/ Garching, Dresden/ Freiberg/Zittau, Stuttgart/Hohenheim, Freiburg/Karlsruhe, Dortmund/Aachen/Jülich, Hannover, Wuppertal und Berlin durchgeführt. Bei den Ortsbesuchen wurden nicht nur Gespräche mit den dort ansässigen Einrichtungen geführt und deren Labors besucht, sondern zusätzlich auch andere Einrichtungen in der Region einbezogen, ohne daß sich die Arbeitsgruppe einen Eindruck von deren Laboratorien verschaffen konnte. So wurden beispielsweise die Universitäten Bochum und Duisburg nach Dortmund eingeladen, um ihre Energieforschung zu präsentieren und die Technischen Universitäten Braunschweig, Clausthal und Hamburg-Harburg nach Hannover. Außerdem wurde eine Anhörung zum Thema Solarenergie durchgeführt, zu der das Institut für Solarenergieforschung, Hameln, das Hahn-Meitner-Institut, Berlin, das Institut für Solare Energieversorgungstechnik, Kassel, sowie das Deutsche Windenergie-Institut, Wilhelmshaven, eingeladen wurden. Da diese Anhörung einem thematischen Ziel diene, wurden Fragen der Struktur der beteiligten Institute nur am Rande beraten.

Die Intensität, mit der sich die Arbeitsgruppe mit den verschiedenen Einrichtungen befaßt hat, war somit unterschiedlich. Über die drei Kategorien Ortsbesuch mit Prä-

sentationen, Gesprächen und Laborbesuchen; Präsentationen und Gespräche ohne Laborbesuche; Präsentationen und Gespräche im Rahmen einer thematischen Anhörung hinaus war die Befassung auch im Hinblick auf die dafür zur Verfügung stehende Zeit unterschiedlich, was sich teilweise in den im folgenden dargestellten Ausgangslagen und Stellungnahmen niederschlägt. Diese unterschiedliche Behandlung ist dadurch begründet, daß die Institutionen unterschiedlich umfangreiche Aktivitäten in der Energieforschung aufweisen und das Ziel der vorliegenden Stellungnahme primär auf übergreifende Aspekte der Energieforschung in Deutschland und weniger auf eine detaillierte Bewertung einzelner Universitäten und Institute gerichtet ist.

In der folgenden Darstellung beruhen die Abschnitte "Organisation und Ausstattung", "Wissenschaftliches Profil" und "Weitere Entwicklung" auf den - zum Teil stark gekürzten - Angaben der einzelnen Einrichtungen; sie stellen die Ausgangslage dar. Es schließt sich jeweils eine kurze bewertende "Stellungnahme" an.

C.I. Universitäten

I.1. Technische Hochschule Aachen

A. Ausgangslage

1. Organisation und Ausstattung

1.1. Organisation

An der Technischen Hochschule Aachen zählt Energieforschung neben der Materialforschung, der Forschung im Bereich Information und Kommunikation und der Umweltforschung zu den wichtigsten Forschungsfeldern. Sie läßt sich innerhalb der Fachbereichsstruktur schwerpunktmäßig den Fakultäten für Maschinenwesen und Elektrotechnik sowie für Bergbau, Hüttenwesen und Geowissenschaften zuordnen.

Fakultäts- und disziplinenübergreifende Strukturen bilden u.a. die Sonderforschungsbereiche 144 "Energie- und Rohstoffeinsparung - Methoden für ausgewählte Fertigungsprozesse" (bis 1996), 224 "Motorische Verbrennung" (bis 1995), und die Graduiertenkollegs "Interdisziplinäre Strategien zum Schutz der Umwelt" und "Turbulenz und Verbrennung - Grundlagen der Emissionsminderung". Der Sonderforschungsbereich 561 "Thermisch hochbelastete offenporige und gekühlte Mehrschichtsysteme für Kombikraftwerke" wurde im Juli 1998 eingerichtet. Darüber hinaus existiert seit kurzem im Rahmen der Interdisziplinären Foren zu den Themen Umwelt, Werkstoff, Informatik, Technik und Gesellschaft, Weltraumforschung auch eine Foren Arbeitsgruppe "Energie". In ihr werden fächerübergreifende Aktivitäten im Bereich der Energieforschung gebündelt. Sie umfaßt etwa 30 Professuren/Institute, die auf dem Energiesektor tätig sind, und soll die Durchführung interdisziplinärer Projekte übernehmen.

Die Energieforschung an der Technischen Hochschule Aachen zeichnet sich durch eine intensive Zusammenarbeit mit industriellen Partnern aus, wobei ein hohes Drittmittelaufkommen aus hauptsächlich nationalen Quellen erzielt wird.

1.2. Haushalt und Personal

Ergänzend zu den Mitteln aus der Grundausstattung haben die schwerpunktmäßig berücksichtigten Institute für Projekte in der Energieforschung im Jahr 1996 ca. 15,3 Mio. DM Drittmittel von der Industrie (4,5 Mio. DM), der DFG (3,8 Mio. DM), Bund (2,3 Mio. DM), der AiF (2,0 Mio. DM), Land (1,2 Mio. DM), EU (1,2 Mio. DM) und sonstigen Institutionen (0,3 Mio. DM) eingeworben. Die übrigen Mitglieder der Foren-Arbeitsgruppe "Energie" (23 Institute) haben zusätzlich ca. 14,9 Mio. DM an Drittmitteln eingeworben.

Nach Personenjahren waren im Jahr 1996 178 Wissenschaftler in der Energieforschung tätig, davon wurden 90 über Drittmittel finanziert. Hinzu kommen 149 Wissenschaftler aus den weiteren Mitglied-Instituten der Foren-Arbeitsgruppe "Energie".

1.3. Infrastruktur und Serviceeinrichtungen

Die Infrastruktureinrichtungen der Institute (Anlagen, Labore, Prüfstände und Rech-nerausstattung) werden überwiegend intern (u.a. für die Durchführung von For-schungsprojekten und Industrienaufträgen oder zu Lehrzwecken) sowie von Koope-rationspartnern genutzt.

2. Wissenschaftliches Profil

2.1. Energiewissenschaftliche Tätigkeitsschwerpunkte

Arbeitsschwerpunkte der Energieforschung an der Technischen Hochschule Aachen liegen in den Bereichen

Verbrennung und Kraftwerkstechnik

- Kohleumwandlungsverfahren (Druckkohlenstaubverbrennung)
- Optimierung von Verbrennungsmotoren hinsichtlich Kraftstoffverbrauch und Emissionen
- Aerodynamische Optimierung thermischer Turbomaschinen

- Verfahren zu Kühlung thermisch hochbelasteter Turbinenstufen
- Verbrennungsprozesse bei der Verfeuerung fossiler Brennstoffe
- Entwicklung von Meßtechniken zur Analyse von Zweiphasenströmungen und instationären Strömungsvorgängen
- Hochdynamische industrielle und Traktionsantriebe

Einsparpotentiale im Fertigungsprozeß

- Energieeinsparung beim Verformen, Umformen, Trennen und Fügen
- Energiesparende Antriebs- und Regelungstechnik

Energietransport und Energieverteilung

- Verfahren für die Planung und den Betrieb von Großverbund-, Übertragungs- und Verteilungsnetzen
- Verfahren zur probabilistischen Zuverlässigkeitsanalyse von Elektrizitätsversorgungssystemen (Erzeugung, Übertragung, Verteilung)
- Kontinentübergreifende Verbundsysteme, dezentrale Erzeugungsanlagen
- Optimierung von Schlüsselkomponenten der elektronischen Energieübertragung (z.B. Leistungsschalter, Transformatoren) hinsichtlich Grenzleistung, Material- und Energieeinsatz
- Hochleistungselektronik für Gleichspannungsübertragung und aktive Filterung

Analyse von Energiesystemen

- Untersuchung von Anlagen und ganzen Betrieben hinsichtlich optimalen Einsetzens und Nutzens von Energieträgern

2.2. Wichtige Forschungsergebnisse

Als wichtige Forschungsergebnisse der Energieforschung in einzelnen Bereichen sind beispielhaft anzuführen:

- Neue Erkenntnisse über Gemischbildung und Verbrennung in Dieselmotoren

und über den Einfluß turbulenter Schwankungen auf die Stickoxidbildung bei der Verbrennung

- Verwirklichung einer Demonstrationsanlage zur Druckwirbelschichtverbrennung von Kohle
- Modellierung der Strömung und der Verbrennung bei Kohlestaubbrennern
- Entwicklung neuer Brennverfahren
- Elektrisch regenerierbare Partikelfilter zur Abgasnachbehandlung
- Gekoppelte Berechnung von Strömung und Wärmetransport um und in Festkörpern für Gas- und Dampfturbinen
- Berechnung der dreidimensionalen verlustbehafteten Strömung durch eine Gas- und Dampfturbinenstufe
- Hochleistungsumrichter für Blindleistungskompensation und aktive Filterung
- Gestaltete Reluktanzantriebe für Elektrostraßenfahrzeuge
- Verfahren zur Zuverlässigkeitsbewertung von Energieversorgungssystemen
- Verfahren zur Energie- und Kraftwerkseinsatzoptimierung
- Planungsmethoden zur Integration dezentraler Elektrizitätserzeugungsanlagen
- Weiterentwicklung des Laser-Doppler-Anemometers zur 3-D-Meßtechnik
- Entwicklung von Bewertungsmethoden zur Energieeinsparung

2.3. Veröffentlichungen und Patente

In den Jahren 1994 bis 1996 haben Mitarbeiter der in der Energiewissenschaft tätigen Institute der Technischen Hochschule Aachen rd. 1.000 Arbeiten veröffentlicht, hierzu zählen Veröffentlichungen in begutachteten Zeitschriften und Konferenzberichte, Monographien sowie weitere Publikationen.

Im Zeitraum von 1994 bis 1996 wurden 20 Patente angemeldet (u.a. eine Vorrichtung zur meßtechnischen Erfassung von mechanischen Zustandsparametern an den Laufschaufeln einer laufenden Turbine).

2.4. Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Beteiligung an internationalen Forschungsprojekten

Alle Einrichtungen der Energieforschung an der Technischen Hochschule Aachen kooperieren untereinander oder mit auswärtigen Partnern. Die überwiegende Zahl der Institute unterhält enge Kooperationsbeziehungen zu den für ihr Arbeitsgebiet einschlägigen Industrieunternehmen, bei denen durch Forschungsarbeit gewonnenes Know-how zur Lösung industrieller Probleme eingesetzt wird (anwendungsnahe Forschungs- und Entwicklungsprojekte). Der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" (AiF) kommt in diesem Austauschprozeß eine wichtige Rolle zu. Neben der Zusammenarbeit in konkreten anwendungsorientierten Projekten, etwa im Rahmen von Programmen der EU und des BMBF, werden Kontakte zu Forschungseinrichtungen im In- und Ausland auf informeller Basis gepflegt. Gastaufenthalte von Wissenschaftlern und Studierenden werden ermöglicht.

2.5. Lehrtätigkeit und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses

Die Schwerpunkte der Lehre im Bereich Energie finden sich in zwei Fachbereichen (Maschinenwesen, Elektrotechnik). Im Rahmen von sechs (zum Teil erst vor kurzem eingerichteten) Diplomstudiengängen (Maschinenbau, Bergbau, Abfallentsorgung, Geologie, Mineralogie, Elektrotechnik) können energietechnische Themen bearbeitet werden. Zudem existiert ein fakultätsübergreifender Aufbaustudiengang ("Umweltwissenschaften") mit entsprechendem energiewissenschaftlichem Angebot. Im Antragsverfahren befindet sich ein Master-Studiengang (Elektrische Energietechnik) für ausgewählte ausländische Bachelor-Absolventen, der zum Sommersemester 1998 eingeführt werden soll. Nach Angaben der Hochschulleitung verlassen in jedem Jahr 600 Absolventen mit einem Schwerpunkt aus der Energieforschung die Technische Hochschule Aachen.

In den Jahren 1994 bis 1996 wurden an der Technischen Hochschule Aachen nach Angaben der im Bereich Energieforschung tätigen Institute ca. 1.750 Studien- und Diplomarbeiten und 167 Dissertationen angefertigt.

Zur Situation des wissenschaftlichen Nachwuchses weisen die im Bereich der Energieforschung tätigen Institute darauf hin, daß die Zahl der für eine Promotion oder eine Mitarbeiterstelle in Frage kommenden Absolventen in den letzten Jahren abgenommen hat. Als Ursache wird die zurückgehende Anzahl der Studierenden in den Ingenieurwissenschaften, besonders im Maschinenbau und in der Elektrotechnik, genannt. Den Absolventen, diplomierten wie promovierten, gelinge der Wechsel in die Industrie aufgrund ihrer praxisnahen Ausbildung in der Regel ohne größere Probleme.

3. Weitere Entwicklung

Die Energieforschung ist zentraler Bestandteil der Aktivitäten der genannten Fachbereiche der Technischen Hochschule Aachen, wobei inter- und transdisziplinäre Zielsetzungen von Bedeutung sind. Neue Impulse im Bereich der Energieforschung werden von dem derzeit in Planung befindlichen "Labor zur Untersuchung von Verbrennungs- und Strömungsvorgängen" erwartet. In Gemeinschaftsforschung sollen (spätestens ab 2000) strömungs-, wärme- und werkstofftechnische Fragestellungen an Komponenten und Anlagen der Energietechnik untersucht werden.

Eine Ausweitung des Lehrangebots zur Energieforschung ist in Vorbereitung (u.a. die Einführung einer neuen Vertiefungsrichtung "Kraftwerkstechnik" im Studiengang Maschinenbau).

B. Stellungnahme

Die stark anwendungsorientierte Energieforschung an der Technischen Hochschule Aachen zeichnet sich durch eine, auch gemessen an internationalen Standards, sehr gute Qualität aus. Vielfältige aktuelle Forschungsthemen werden auf hohem wissenschaftlichen, aber immer auch konkret anwendungsbezogenen Niveau bearbeitet. Das gilt beispielsweise für den Ansatz, in der Werkstoff- und Produktionstechnik über neue Fertigungsverfahren Ressourcen zu sparen, gleichermaßen wie für die kreativen Versuche der Elektrotechnik, dezentrale, nicht-lineare und "intelli-

gente" Versorgungsnetze zu planen. Ebenso sind die Arbeiten zur Modellentwicklung in der Leistungselektronik hervorzuheben. Dieser positive Ansatz in der Elektrotechnik sollte durch den stärkeren Einbezug von Bauelementen auf Siliciumcarbid-Basis in Gebiete höherer Leistungen und höherer Temperaturen erweitert werden. Zu den herausragenden Schwerpunkten zählen auch die Aktivitäten im Bereich "Innovative Reaktorkonzepte" einschließlich eines Hochtemperaturreaktors sowie die fossile Kraftwerkstechnik.

Die Hochschule ist mit Prüfständen und Meßlabors überwiegend gut ausgestattet. Moderne Lasertechnik, angepaßt jeweils an unterschiedliche Untersuchungsobjekte (z.B. Verbrennungsmotor, Gasmatrixbrenner), findet ihre konsequente und erfolgreiche Anwendung. Die Simulationstechnik in der Verbrennungsforschung läßt ebenfalls hohen Standard erkennen.

Grundlagenforschung wird in allen Bereichen mit einem konsequenten Blick auf Anforderungen der industriellen Praxis betrieben, was sich in vielfältigen engen Forschungsk Kooperationen mit Industrieunternehmen äußert. Entsprechend hoch ist das Drittmittelaufkommen der Technischen Hochschule. Das Engagement im Bereich der Patentanmeldung sollte überprüft werden; die Fülle der Forschungsbereiche und -ergebnisse bietet hier noch ungenutzte Möglichkeiten.

Hervorzuheben ist die konsequente Einbindung des wissenschaftlichen Nachwuchses in innovative Forschungsprojekte, die zu einer hohen Motivation der Mitarbeiter der Institute führt. Generell kann die interdisziplinäre Zusammenarbeit innerhalb der Hochschule als sehr gut bewertet werden. Nicht zuletzt die Sonderforschungsbereiche und Graduiertenkollegs zeugen von einer erfolgreichen fakultäts- und disziplinenübergreifenden Kooperation innerhalb der Hochschule. Der Wissenschaftsrat begrüßt und ermutigt in diesem Zusammenhang ausdrücklich die Gründung und Weiterentwicklung des Energie-Forums im Rahmen der Interdisziplinären Foren wie auch die Einrichtung des zur Zeit noch in Planung befindlichen "Labors zur Untersuchung von Verbrennungs- und Strömungsvorgängen".

Positiv zu werten sind die Planungen der Hochschule, in nächster Zukunft das Lehrangebot zur Energieforschung auszuweiten, unter anderem durch eine neue Vertiefungsrichtung und einen Master-Studiengang für ausgewählte ausländische Bachelor-Absolventen, um dadurch den Bereich der Lehre noch attraktiver zu gestalten.

I.2. Universität Bochum

A. Ausgangslage

1. Organisation und Ausstattung

1.1. Organisation

Die Energieforschung an der Universität Bochum wird im wesentlichen innerhalb folgender fünf Forschungsschwerpunkte unter Beteiligung von mehr als 30 Instituten, Lehrstühlen oder Arbeitsgruppen betrieben:

- Kraftwerkstechnik,
- Energietechnische Gebäude, Speicherung und Entsorgung,
- Zukunftsenergien und Ressourcenschonung,
- Energieübertragung und -transport,
- Energiewirtschaft, -recht und -systeme.

Nach Angabe der Hochschule ist die Energieforschung bewußt dezentral in den einzelnen Fakultäten und Instituten verankert. Als übergreifende Struktur besteht ein universitätsweiter Arbeitskreis, der als gemeinsames Diskussionsforum für die mit Energieforschung befaßten Wissenschaftler dient. Es existiert kein speziell auf Energieforschung ausgerichteter Sonderforschungsbereich, obgleich einzelne energiewissenschaftliche Themen in Sonderforschungsbereichen verfolgt werden, wie im SFB 398 "Lebensdauerorientierte Entwurfskonzepte unter Schädigungs- und Deteriorationsaspekten". Gemeinsame Arbeitsschwerpunkte bestehen auch mit dem Graduiertenkolleg "Computational Structural Dynamics" und wurden von der Forschergruppe "Wirbel und Wärmeübertragung" bearbeitet (Förderungsende 1996).

1.2. Haushalt und Personal

Ergänzend zu den Mitteln aus der Grundausrüstung wurden für Projekte in der Energieforschung im Jahr 1996 insgesamt rund 16,8 Mio. DM Drittmittel eingeworben, davon vom Bund 5,7 Mio. DM, der DFG 3,2 Mio. DM, vom Land 2,9 Mio. DM, von der Industrie 1,6 Mio. DM, der EU 1,3 Mio. DM, sonstigen Institutionen 1,5 Mio. DM und 0,6 Mio. DM von der AiF.

Nach Personenjahren waren im Jahr 1996 163 Wissenschaftler in der Energieforschung tätig, davon wurden 98 Mitarbeiter über Drittmittel finanziert.

1.3. Infrastruktur und Serviceeinrichtungen

Die Universität Bochum verfügt für die Energieforschung über experimentelle und rechnerische Einrichtungen, ergänzt durch Fachbibliotheken (auch für Berg- und Energierecht), zur Bearbeitung der Gebiete Wärmetechnik (fossile und nukleare Wärmeerzeugung und -übertragung), Strömung (Windkanäle, Turbomaschinen-Prüffeld), motorische Antriebe (Prüfstände für Antrieb und -strang), Meßtechnik (mechanisch, elektronisch, (Laser-)optisch), Hochtemperatur-Werkstoffe (Induktionsofen, Kriechlabor), Bodenmechanik (Rütteltisch, Bohrlochprüfung, Gesteinslabor).

2. Wissenschaftliches Profil

2.1. Energiewissenschaftliche Tätigkeitsschwerpunkte

Im Forschungsschwerpunkt Kraftwerkstechnik dient die Forschung in erster Linie der Anwendung in Großkraftwerken, daneben in dezentralen Energieversorgungstechniken sowie bei der thermischen Abfallverwertung. Die Arbeitsschwerpunkte umfassen die Leittechnik, Energiewandlung und -anwendung, die Werkstoffe und das Materialverhalten und die Anlagensicherheit in fossil befeuerten und Kernkraftwerken.

Im Forschungsschwerpunkt Energietechnische Gebäude, Speicherung und Entsorgung werden Forschungen zur bautechnischen Auslegung energietechnischer Anlagen gegen dynamische Einwirkungen durchgeführt. Neue Entwurfskonzepte für Naturzug-Kühltürme werden zur Optimierung der Sicherheit und Dauerhaftigkeit erstellt. Außerdem werden Spannbetonbehälter zur sicheren komprimierten Lagerung von tiefkalt verflüssigtem Gas untersucht. Weitere Schwerpunkte sind unterirdische Gasspeicher, saisonale Wärmespeicherung und Entsorgung in der Energiewirtschaft.

Der Forschungsschwerpunkt Zukunftsenergien und Ressourcenschonung beschäftigt sich mit Kernfusionsforschung und solarthermischen Kraftwerken. Weitere Schwerpunkte sind Gewinnung von Erdwärme und Methan aus tiefen Schichten der Erde, rationelle Energienutzung, Ressourcenschonung durch energieoptimiertes Bauen und PEM-Brennstoffzellen.

Im Forschungsschwerpunkt Energieübertragung und -transport werden die Instandhaltung und Verlegung von Leitungsnetzen, der Transport von Erdgas, die Konditionierung und Umsetzung von netzgekoppelter elektrischer Energie sowie die Wärmeübertragung verfolgt.

Der Forschungsschwerpunkt Energiewirtschaft, -recht und -systeme ist mit verschiedenen anderen Bereichen eng vernetzt. Neben systemischen Aspekten und umweltökonomischen- und europarechtlichen Fragestellungen werden auch ethische, philosophische, risikorelevante und soziologische Aspekte der Energiewandlung und -nutzung untersucht.

2.2. Wichtige Forschungsergebnisse

Als wichtige Ergebnisse in der Energieforschung sind beispielhaft anzuführen:

- Simulation der Gasphasenreaktionskinetik in Flammen,
- schadstoffarme Verbrennung durch Vormischung und Vorverdampfung,

- Standardisierung von thermodynamischen Eigenschaften von Wasser und Wasserdampf,
- Meßtechnik und Simulation von instationären Strömungen in Turbomaschinen,
- Verbesserung der Softwaresicherheit für Leittechniksysteme,
- Sicherheitsaussagen zu Kernkraftwerken und Kernkraftwerkskühltürmen,
- in-situ Wandbeschichtungsverfahren für Fusionsanlagen,
- Verständnis der magneto-hydrodynamischen Stabilität des heißen Kerns von Fusionsplasmen,
- Initiierung des europäischen Hot-Dry-Rock Projekts,
- Optimierung von Wärmeübertragern (experimentell und theoretisch),
- Erstellung einer Prioritätenliste für den disaggregierten Einsatz von regenerativen Energieträgern flächendeckend für Nordrhein-Westfalen,
- Ermittlung des Zusammenhangs zwischen ökologischer Normorientierung und privatem Energiesparverhalten.

2.3. Veröffentlichungen und Patente

In den Jahren 1994 bis 1996 haben Mitarbeiter der Forschungsschwerpunkte in der Energieforschung der Universität Bochum rund 600 Arbeiten publiziert, hierzu zählen Veröffentlichungen in begutachteten Zeitschriften und Konferenzberichte sowie weitere Publikationen. Im selben Zeitraum wurden sechs Patente angemeldet.

2.4. Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Beteiligung an internationalen Forschungsprojekten

Die Einrichtungen innerhalb der energiewissenschaftlichen Forschungsschwerpunkte der Universität Bochum kooperieren untereinander und mit auswärtigen Partnern. Im Bereich der Plasmaphysik besteht neben der Kooperation mit dem Max-Planck-Institut für Plasmaphysik in Garching insbesondere mit dem Forschungszentrum Jülich intensive Zusammenarbeit in Form von experimentellen und theoretischen Arbeiten im Rahmen des Forschungsprogramms zur Kernfusion am Großexperiment TEXTOR. Innerhalb der AG Solar und AG Turbo sowie der For-

schungsverbände "Moderne Kraftwerkstechnik" und "Druckflamm" des Landes NRW werden Kontakte mit kooperierenden Einrichtungen im Umfeld gepflegt. Kooperationsbeziehungen bestehen ferner zu zahlreichen Hochschulen im In- und Ausland (u.a. in Japan und den USA). Die Bochumer Institute beteiligen sich an Programmen der EU (z.B. BRITE/EURAM) und des BMBF. Die überwiegende Zahl der Institute unterhält enge Kooperationsbeziehungen zu den für ihr Arbeitsgebiet einschlägigen Industrieunternehmen, bei denen durch Forschungsarbeit gewonnenes Know-how zur Lösung industrieller Probleme eingesetzt wird.

2.5. Lehrtätigkeit und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses

In der Fakultät für Maschinenbau wird im Diplomstudiengang u.a. die Vertiefungsrichtung "Energietechnik" angeboten, die nach Angabe der Hochschulleitung 1996 etwa 60 Studienanfänger, 250 Studierende und 40 Absolventen zählte. Das zentrale Institut für Berg- und Energierecht des Forschungsschwerpunkts Energiewirtschaft, -recht und -systeme bietet daneben ein regelmäßig stattfindendes Kompakt-Lehrprogramm "Bergbau und Energiewirtschaft" für etwa 20 Teilnehmer an. Darüber hinaus gibt es eine Reihe regelmäßig stattfindender Vorlesungen, wie z.B. "Energietechnischer Ingenieurbau" mit etwa 35 Teilnehmern.

In den Jahren 1994 bis 1996 wurden an der Universität Bochum nach Angaben der in den energiewissenschaftlichen Forschungsschwerpunkten tätigen Einrichtungen 217 Diplomarbeiten, 227 Studienarbeiten und 71 Dissertationen angefertigt.

Aus Sicht der in der Energieforschung tätigen Einrichtungen wird die Situation des wissenschaftlichen Nachwuchses überwiegend als gut bezeichnet. In den Fächern Maschinenbau und Physik sei künftig ein Mangel an qualifizierten Nachwuchskräften aufgrund des starken Rückgangs der Studienanfänger zu erwarten. Derzeit würden in Deutschland zu wenig Ingenieure ausgebildet. Es sei schwer, gute Absolventen, die größtenteils in die Industrie wechselten, an Hochschulen mit den geringen zur Verfügung stehenden finanziellen Mitteln zu halten. Im Bereich der Hochtemperatur-Plasmaphysik bestehe an Hochschulen ein Mangel an qualifizierten Nachwuchskräften. Die Berufschancen für Elektrotechniker seien in Deutsch-

land nicht befriedigend, was eine Abwanderung qualifizierter Absolventen in die USA zur Folge habe.

3. Weitere Entwicklung

Die Hochschulleitung gibt an, daß dem Ausbau der Energieforschung, auch über mehrere Fakultäten hinweg, bei der künftigen Entwicklung der Universität Bochum eine steigende Bedeutung zukommen werde, da aufgrund des vorliegenden breiten Fächerspektrums sehr gute Voraussetzungen zur systematischen und überprüfenden Bearbeitung eines solch komplexen und umweltrelevanten Querschnitts-themas vorhanden seien. Durch das verstärkte Zusammenwirken der Bereiche "Energietechnik" und "Verfahrenstechnik" in der Fakultät für Maschinenbau solle den Ansprüchen in diesen Bereichen, z.B. im Rahmen des in der Fakultät für Maschinenbau neu aufgestellten Strukturentwicklungsplans, Rechnung getragen werden.

B. Stellungnahme

Die Universität Bochum ist traditionell mit der Energietechnik eng verknüpft. Dem-entsprechend breit gefächert ist das Spektrum der energiewissenschaftlichen The-men, die mit überwiegend guter Qualität bearbeitet werden.

Hervorzuheben sind im Bereich der Kraftwerkstechnik die Arbeiten zu Modellie-rungen der Verbrennungsvorgänge sowie die Arbeiten auf dem Gebiet der Energie-anwendungstechniken, die sich auf einem hohen internationalen Niveau befinden und mit intensiven Industriekontakten durchgeführt werden.

Interessant sind auch die Arbeiten zur Gewinnung von Erdwärme mittels der Hot-Dry-Rock-Technologie, die im Bereich Zukunftsenergien und Ressourcenschonung durchgeführt werden. Hervorzuheben ist, daß vom Institut für Geophysik 1987 das

europäische HDR-Experiment erfolgreich initiiert wurde. Das Gebiet der Geothermie wird nur an wenigen anderen Einrichtungen in Deutschland verfolgt.

Des Weiteren stellt der thematische Bereich Energiewirtschaft, -recht und -systeme eine Besonderheit der Universität Bochum dar, wobei die Arbeiten zu ethischen Aspekten der Energieerzeugung und -nutzung beachtenswert sind.

Insgesamt sind erste Anfänge eines übergreifenden Konzeptes für die Energieforschung erkennbar. Es empfiehlt sich, Konzentrationen und Schwerpunktbildungen vorzunehmen, um eine höhere Effizienz herbeizuführen. In der Fakultät Maschinenbau wird im Rahmen ihres neu geschaffenen Strukturentwicklungsplans das verstärkte Zusammenwirken der Bereiche "Energietechnik" und "Verfahrenstechnik" in Forschung und Lehre erfreulicherweise bereits angegangen. Der mit Unterstützung des Rektorates gegründete Arbeitskreis Energieforschung, der eine stärkere Vernetzung herbeiführen soll, ist zu begrüßen. Wünschenswert wäre, wenn der Anteil der aus der Industrie eingeworbenen Drittmittel künftig gesteigert würde.

Nach Auffassung des Wissenschaftsrates liegt in der Konzentration mehrerer Hochschulen im Ruhrgebiet eine große Chance, die sowohl vom Land als auch von den betroffenen Hochschulen selbst (Bochum, Dortmund, Duisburg, Essen) stärker als bisher im Sinne einer effektiven Zusammenarbeit genutzt werden sollte. Über die stärkere Abstimmung der einzelnen Hochschulen untereinander wäre nicht nur eine Bündelung und Konzentration von einzelnen Aktivitäten in Form von Schwerpunktbildungen in Forschung wie Lehre zu erreichen, sondern zudem eine spezifische Profilschärfung jeder einzelnen Hochschule im Bereich der Energieforschung. Deshalb wird es nach Ansicht des Wissenschaftsrates künftig darauf ankommen, ein sowohl hochschulinternes als auch -übergreifendes Konzept für die Energieforschung zu entwickeln, das die einzelnen qualitativ überwiegend guten und zum Teil sehr guten Bereiche auch in ihrer mittelfristigen Perspektive berücksichtigt.

I.3. Technische Universität Braunschweig

A. Ausgangslage

1. Organisation und Ausstattung

1.1. Organisation

An der Technischen Universität Braunschweig befassen sich die Institute für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen, für elektrische Maschinen, Antriebe und Bahnen, für Regelungstechnik und für Elektrophysik des Fachbereichs Elektrotechnik, die Institute für Wärme- und Brennstofftechnik und für Thermodynamik sowie das Pfeleiderer-Institut für Strömungsmaschinen des Fachbereichs Maschinenbau mit Energieforschung. Daneben bearbeiten die Institute für Gebäude- und Solartechnik sowie für Entwicklungsplanung und Siedlungswesen des Fachbereichs Architektur energiewissenschaftliche Fragestellungen.

Institute der genannten und weiterer Fachbereiche haben sich mit Forschern der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt, der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, der Fraunhofer-Arbeitsgruppe für Holzforschung und verschiedener Industrieunternehmen zum "Forschungskreis Solarenergie" zusammengeschlossen. In mehrmals jährlich stattfindenden Treffen diskutieren die Mitglieder des Forschungskreises neben der Solarenergienutzung auch weitere Fragen der Energieforschung.

Eine über die Fachbereiche hinausgehende Personal-, Sachmittel- und Raumausstattung im Bereich der Energieforschung ist nicht vorhanden. Da die Fachbereiche für Maschinenbau und für Elektrotechnik jedoch in einer gemeinsamen Fakultät zusammengeschlossen sind, wird die Mittel- und Raumverteilung für diese Bereiche koordiniert geplant.

1.2. Haushalt und Personal

Zusätzlich zu den Mitteln aus der Grundausstattung haben die Institute im Jahr 1996 insgesamt rund 6,3 Mio. DM Drittmittel für Projekte in der Energieforschung eingeworben, davon 2,6 Mio. DM vom Bund und 1,0 Mio. DM von der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Mit rund 4,4 Mio. DM entfielen knapp 70 % der eingeworbenen Drittmittel auf Institute des Fachbereichs Elektrotechnik.

Nach Personenjahren waren im Jahr 1996 65,5 Wissenschaftler in der Energieforschung tätig, davon wurden 39,5 Stellen mit Drittmitteln finanziert.

1.3. Infrastruktur und Serviceeinrichtungen

Die einzelnen Institute verfügen über versuchs- und meßtechnische Einrichtungen zur Durchführung von Laborexperimenten auf ihren jeweiligen Arbeitsgebieten, die sowohl zu Kooperationsprojekten mit der Industrie als auch für Drittmittelforschung und für die Lehre genutzt werden.

2. Wissenschaftliches Profil

2.1. Energiewissenschaftliche Tätigkeitsschwerpunkte

Die Institute des Fachbereichs Elektrotechnik befassen sich mit der Entwicklung von Halbleiterbauelementen mit hoher Leistung, energietechnischen Anwendungen von Hochtemperatursupraleitern und Forschungen auf dem Gebiet der Plasmatechnologie für Schaltgeräte und zur Oberflächenbehandlung. Daneben werden materialwissenschaftliche Arbeiten zu polymeren Werkstoffen für Hochspannungs-Freiluftisolierungen durchgeführt. Im Bereich der Fahrzeugtechnik werden neue Energiewandlerkonzepte für Fahrzeugantriebe und Drehstromantriebe für Elektrofahrzeuge entwickelt.

Im Mittelpunkt der vorwiegend kraftwerks- und verbrennungstechnischen Arbeiten im Fachbereich Maschinenbau stehen Fragen der Simulation und Optimierung von

Kraftwerksfeuerungen und -kreisläufen sowie Strömungsmaschinen, der Wärmeübertragung und Strömung in Kernreaktoren und zu Kühlsystemen (Auslegung und Abnahmemessung von Kühltürmen).

Die Institute des Fachbereichs Architektur befassen sich mit der Entwicklung integraler Energiekonzepte für Wohnsiedlungen, der Erstellung von Energie- und Emissionsbilanzen für Gebäude sowie Fragen des energieoptimierten Bauens (Niedrigstenergie- und Passivhäuser) und der solaren Nahwärmeversorgung mit Langzeitwärmespeichern.

2.2. Wichtige Forschungsergebnisse

Beispiele für an der Technischen Universität Braunschweig erzielte wichtige Ergebnisse auf dem Gebiet der Energieforschung sind:

- Beseitigung von Schwachstellen in Verbundwerkstoffen für polymere Hochspannungs-Freiluftisolierungen,
- Entwicklung eines Schwungradspeichers mit integrierten Funktionselementen,
- Einsatz der Niedertemperaturen-Verbindungstechnik beim Halbleiter-Modulaufbau,
- optimale Regelung drehzahlvariabler Windenergieanlagen,
- Entwicklung eines 3D-Finite Volumen-Programms zur Brennkammersimulation insbesondere kohlegefeuerter Kraftwerke,
- Entwicklung von Software zur stationären und instationären Kraftwerkssimulation sowie zur Optimierung von Kraftwerkskreisläufen und Brennelementeeinsatz
- Beherrschung erheblich gesteigerter aerodynamischer Belastungen im Axialventilatorbau,
- Entwicklung von Simulationen zur Verbesserung der Energieeffizienz von Altbauten,
- Entwicklung von Heiz- und Lüftungssystemen für Niedrigstenergie-Gebäuden
- Realisierung von solarunterstützten Nahwärmeprojekten mit Langzeit-Wärmespeichern.

2.3. Veröffentlichungen und Patente

In den Jahren 1994 bis 1996 haben Mitarbeiter der Technischen Universität Braunschweig auf dem Gebiet der Energieforschung rund 140 Arbeiten in Zeitschriften, als Konferenzberichte oder in Form anderer Publikationen veröffentlicht. Im selben Zeitraum wurden 8 Patente angemeldet.

2.4. Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Beteiligung an internationalen Forschungsprojekten

Die Institute arbeiten hochschulintern mit anderen Instituten innerhalb und außerhalb ihrer Fachbereiche zusammen. Alle Institute pflegen enge Kontakte zu einschlägigen Industrieunternehmen, mit denen sie im Rahmen öffentlich geförderter Verbundprojekte oder in Form direkter Kooperationen gemeinsame Forschung betreiben. Wichtige Kooperationspartner sind auch in Braunschweig ansässige außeruniversitäre Forschungseinrichtungen. Kooperationen mit anderen Hochschulen in Deutschland bestehen im Rahmen von Schwerpunktprogrammen der Deutschen Forschungsgemeinschaft, an denen mehrere Institute beteiligt sind. Vielfältige Kooperations- und Austauschbeziehungen unterhalten die Institute mit Hochschulen und anderen Forschungseinrichtungen im europäischen und außereuropäischen Ausland, wobei sich die Zusammenarbeit in der Forschung auch gezielt auf die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses erstreckt.

2.5. Lehrtätigkeit und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses

Energiewissenschaftliche Schwerpunktsetzungen sind im Rahmen des grundständigen Studiengangs Maschinenbau in der Fachrichtung Energie- und Verfahrenstechnik sowie im grundständigen Studiengang Elektrotechnik in der Fachrichtung Energietechnik möglich. Im Jahr 1996 waren insgesamt mehr als 150 Absolventen der beiden Fachrichtungen zu verzeichnen.

In den Jahren 1994 bis 1996 fertigten Studierende rund 550 Studien- und Diplomarbeiten an, die sich mit Fragen der Energieforschung auseinandersetzten. Im selben

Zeitraum wurden im Bereich der Energieforschung 38 Promotionsverfahren erfolgreich abgeschlossen.

Die Berufschancen für ihre Absolventen werden von den Instituten durchweg positiv beurteilt. Angesichts des großen Bedarfs an Energiefachleuten in der Industrie werden jedoch Befürchtungen geäußert, nicht genügend qualifizierte wissenschaftliche Mitarbeiter für die universitäre Forschung gewinnen zu können. Zunehmend schwierig gestaltet sich auch die Rekrutierung geeigneter Hochschullehrer mit ausreichender industrieller Berufspraxis aufgrund der starken Einkommensunterschiede zwischen Industrie und Hochschule.

3. Weitere Entwicklung

Nach Angaben der Hochschule wurden in den einzelnen Fachbereichen übergreifende Entwicklungskonzepte ausgearbeitet, die eine Verstärkung der interdisziplinären Zusammenarbeit innerhalb der Hochschule sowie mit außeruniversitären Einrichtungen und industriellen Kooperationspartnern in der Region vorsehen. Im Bereich der Energieforschung seien u.a. Projekte zur Solarenergienutzung, zur Simulation und Modellbildung energietechnischer Systeme und zur elektromagnetischen Verträglichkeit geplant.

Das energiewissenschaftliche Lehrangebot soll künftig im Rahmen der gemeinsam von den Fachbereichen Maschinenbau, Elektrotechnik, Physik und Geowissenschaften sowie Chemie und Pharmazie vorbereiteten Fachrichtung Materialwissenschaften erweitert werden. Fragen der Energieforschung sollen auch im Rahmen des von den Fachbereichen Bauingenieurwesen und Architektur geplanten neuen Studienschwerpunktes "Bauwerkserhaltung" behandelt werden.

B. Stellungnahme

An der Technischen Universität Braunschweig wird Energieforschung von guter Qualität in einem breiten Spektrum energiewissenschaftlicher Themen betrieben.

Als gut zu bewerten sind unter anderem die Arbeiten zur Brennkammersimulation und weitere numerische Berechnungen, die am Fachbereich Maschinenbau durchgeführt werden; zu empfehlen ist dem Fachbereich jedoch die weitere Verstärkung der Konzentration auf einige wenige Forschungsschwerpunkte.

Am Fachbereich Elektrotechnik werden Komponenten und Systeme zur Energie-wandlung, -verteilung und -nutzung erforscht. Beachtung finden die Arbeiten zu Halbleiterleistungsbau-elementen. Interessant ist die Berücksichtigung medizinisch-biologischer Aspekte in der Konzeption des geplanten Instituts für elektroma-gnetische Verträglichkeit. Der Wissenschaftsrat empfiehlt der Hochschule, bei den weiteren Planungen zur Einrichtung dieses Instituts großes Gewicht auf eine Ab-stimmung mit ähnlich gelagerten Aktivitäten anderer Einrichtungen auf nationaler und internationaler Ebene zu legen.

Die Arbeiten zum energieoptimierten Bauen des Fachbereichs Architektur sind im internationalen Vergleich auf hohem Niveau. Besonders hervorzuheben ist die enge Kooperation von Ingenieuren und Architekten, die zu einer gelungenen Ver-knüpfung gebäudetechnischer und architektonischer Aspekte bei der Entwicklung von Energiekonzepten für Gebäude und Siedlungen geführt hat. Angesichts des bestehenden Bedarfs an anwendungsreifen Konzepten für die Energieoptimierung des vorhandenen Gebäudebestands ist der Einbezug der Altbausanierung in das Braunschweiger Forschungsprogramm zu begrüßen. Eine weitere Verstärkung der Einbindung des Bauingenieurwesens, besonders der Heizungs- und Klimatechnik, ist zu empfehlen.

Während die Zusammenarbeit mit anderen wissenschaftlichen Einrichtungen und Industrieunternehmen rege ist, sollte die hochschulinterne, fachbereichsüber-greifende Kooperation der Energieforschung betreibenden Institute ausgebaut werden.

In Niedersachsen findet sich mit den Technischen Universitäten Braunschweig und Clausthal sowie der Universität Hannover eine Konzentration von Hochschulen mit ausgeprägt ingenieurwissenschaftlicher Ausrichtung, die bedeutende Potentiale für

eine komplementäre Schwerpunktsetzung birgt. Der Wissenschaftsrat empfiehlt nachdrücklich, dieses Potential für eine abgestimmte Schärfung der Forschungsprofile der genannten Hochschulen auch im Bereich der Energieforschung zu nutzen. Dies würde den einzelnen Hochschulen größere Spielräume für den Ausbau der Kompetenzfelder in der Energieforschung eröffnen.

I.4. Technische Universität Clausthal

A. Ausgangslage

1. Organisation und Ausstattung

1.1. Organisation

An der Technischen Universität Clausthal befassen sich im Fachbereich Maschinen- und Verfahrenstechnik die Institute für Energieverfahrenstechnik und Brennstofftechnik, für Elektrische Energietechnik, für Chemische Verfahrenstechnik und für Reibungstechnik und Maschinenkinetik mit Energieforschung. Außerdem bearbeiten das Institut für Erdöl- und Erdgastechnik sowie das Institut für deutsches und internationales Berg- und Energierecht unter Einbindung der Institute für Geophysik und für Geologie und Paläontologie des Fachbereichs Bergbau und Rohstoffe energiewissenschaftliche Fragestellungen.

Die Energieforschung an der TU Clausthal steht nach Angabe der Hochschulleitung in engem Zusammenhang mit der Umweltforschung, die im Rahmen eines Forschungsverbundes Umwelttechnik, dem 34 Institute angehören, betrieben wird. Gegenwärtig existiert an der TU Clausthal kein Sonderforschungsbereich, der dem Gebiet der Energieforschung unmittelbar gewidmet ist.

1.2. Haushalt und Personal

Ergänzend zu den Mitteln aus der Grundausrüstung wurden für Arbeiten in der Energieforschung im Jahr 1996 insgesamt rund 2,9 Mio. DM Drittmittel erworben, davon von der DFG 1,0 Mio. DM, der Industrie 0,6 Mio. DM, der AiF 0,4 Mio. DM sowie jeweils 0,3 Mio. DM vom Bund, der EU und sonstigen Institutionen.

Nach Personenjahren waren im Jahr 1996 56 Wissenschaftler in der Energieforschung tätig, die zur Hälfte über Drittmittel finanziert wurden.

1.3. Infrastruktur und Serviceeinrichtungen

Die einzelnen Institute verfügen über eine fachspezifische Ausstattung mit verschiedenen Prüfständen und Prüfmaschinen sowie diversen Anlagen (u.a. zur Kühlung von Metallen, zur thermischen Behandlung von Abfallstoffen), Energiesystemsimulatoren, einer Leistungsbremse für Antriebe und einem autonomen modularen Energieversorgungssystem.

2. Wissenschaftliches Profil

2.1. Energiewissenschaftliche Tätigkeitsschwerpunkte

Die Institute des Fachbereichs Maschinen- und Verfahrenstechnik befassen sich u.a. mit der Verbrennung insbesondere ballastreicher und schadstoffhaltiger Brennstoffe, der theoretischen und experimentellen Untersuchung von Hochtemperaturprozessen zur Stoffbehandlung mittels Einsatz fossiler Energie (z.B. Verarbeitung von Schrott in der Stahl- und Eisenindustrie, Herstellung von Grundstoffen in der Zement-, Kalk-, Glasindustrie), Brennstoffsubstitution von Primär- durch Sekundärbrennstoffe, Leistungsmechanikanlagen sowie Windkonverter- und Windparkregelungen (Energiemanagement) mit "Elektronischer Synchronmaschine" zur Netzstützung, Symmetrierung und Oberschwingungskompensation. Außerdem werden verschiedene Energiewandlungstechniken, Entwicklung und Betrieb von Polymerelektrolyt-Brennstoffzellen mit Wasserstoff oder Methanol als Brennstoff, elektrochemische Absorption und die Synthese von H_2O_2 (Vermeidung von Chlorbleiche) verglichen und bewertet. Im Fachbereich Bergbau und Rohstoffe werden u.a. das Bohren und Erschließen von Erdöl- und Erdgaslagerstätten, die geologische und geophysikalische Charakterisierung von Lagerstätten sowie Rechtsprobleme des Energiewirtschaftsgesetzes behandelt.

2.2. Wichtige Forschungsergebnisse

Beispiele für an der TU Clausthal erzielte wichtige Ergebnisse auf dem Gebiet der Energieforschung sind nach Angabe der Institute:

- Erstellung von Modellen zur Optimierung der Energieverteilung in Hochtemperaturprozessen zwecks Energieeinsparung,
- Entwicklung von Regelverfahren für Windenergiekonverter für schwache Netze und Inselnetze mit hoher Energieausbeute,
- "Elektronische Synchronmaschine mit aktivem Dämpfer" zur Beseitigung von unerwünschten Netzurückwirkungen bei der Einbindung von regenerativen elektrischen Energiequellen in elektrische Netze und "Energieveredelung".
- Herstellung kostengünstiger Nichtmetall-Katalysatoren für die CO₂-Reduktion,
- Inbetriebnahme eines Kalandrwalzwerkes zur reproduzierbaren Herstellung von Elektroden für Brennstoffzellen,
- Energieeinsparung durch Minderung von Reibung, Verschleiß und Schmierstoffbedarf eines Heißgasventilators bei 1.350 °C,
- Abhandlung rechtlicher Fragen zur Endlagerung radioaktiver Abfallstoffe,
- Entwicklung gasdichter Rohrleitungen und Tiefbohrzemente für den industriellen Einsatz,
- Beiträge zur Beschreibung des Zweiphasenflusses für den Tiefengasaufschluß.

2.3. Veröffentlichungen und Patente

In den Jahren 1994 bis 1996 haben Mitarbeiter der in der Energieforschung tätigen Institute der TU Clausthal rund 60 Arbeiten in begutachteten Zeitschriften und als Konferenzbeiträge sowie als weitere Publikationen veröffentlicht. Im selben Zeitraum wurden sechs Patente angemeldet.

2.4. Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Beteiligung an internationalen Forschungsprojekten

Die an der Energieforschung beteiligten Institute arbeiten untereinander und eng mit dem Clausthaler Umwelttechnik-Institut CUTEC (An-Institut) zusammen. Ferner kooperieren sie mit verschiedenen Universitäten im In- und Ausland und beteiligen sich an internationalen Forschungsprojekten (u.a. an den EU-Programmen JOULE und MAST). Des Weiteren wird mit verschiedenen größeren ausländischen Forschungseinrichtungen zusammengearbeitet, u.a. dem französischen Erdölinstitut

IfP in Paris. Es bestehen umfangreiche Kontakte zu Industrieunternehmen, um im Rahmen gemeinsamer Projekte für den Transfer von Forschungsergebnissen in die Praxis zu sorgen. Ferner wird bei der Forschung zur Energierohstoffgewinnung und -speicherung mit der Erdöl-/Erdgasgewinnungsindustrie, geophysikalischen und bohrtechnischen Dienstleistungsbetrieben und Erdgasversorgungsunternehmen sowie mit dem Institut für Erdöl- und Erdgasforschung zusammengearbeitet.

2.5. Lehrtätigkeit und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses

Neben Vertiefungs- und Schwerpunktfächern in den Studiengängen Maschinenbau, Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen gibt es zwei neue fächerübergreifende Studiengänge, die sich dem Thema "Energie" intensiver widmen. Der im Wintersemester 1996/97 begonnene integrative Studiengang "Energiesystemtechnik" (18 Neueinschreibungen) zählte zum Wintersemester 1997/98 40 Studierende. Der im Wintersemester 1997/98 eingerichtete Studiengang "Wirtschaftsingenieurwesen" zeichnet sich durch die Studienrichtung "Rohstoffe und Energie" aus. Daneben bestehen energiewissenschaftliche Lehrangebote in den Fächern Geophysik, Erdölgeologie, Erdöl- und Erdgastechnik sowie Erdgasversorgungstechnik.

In den Jahren 1994 bis 1996 wurden an der TU Clausthal in den energiewissenschaftlichen Instituten 93 Diplom-Arbeiten, 163 Studienarbeiten und 25 Dissertationen angefertigt.

Die Berufschancen für ihre Absolventen werden von den Instituten durchweg positiv beurteilt. Höhere Studentenzahlen seien wünschenswert (z.B. im Bereich der Elektrischen Energietechnik und im Bergbaubereich).

3. Weitere Entwicklung

Künftig soll zu Lehr-, Demonstrations- und Forschungszwecken für moderne CO₂-reduzierende Energietechniken und -systeme der "Energiepark Clausthal" in dem An-Institut CUTEC, das eines der 34 Institute des Forschungsverbundes Umwelt-

technik darstellt, errichtet werden. Nach entsprechendem Realisierungsfortschritt soll die Beantragung eines neuen Sonderforschungsbereiches mit dem Titel "Energiesysteme zur CO₂-Reduktion" folgen.

Der Bereich "Energie" soll durch Denomination freiwerdender Professuren weiter ausgebaut werden. Im Rahmen des Studiengangs "Energiesystemtechnik" und des geplanten "Energieparks Clausthal" sollen außerdem neue Lehrkonzepte erprobt werden, die eine Verstärkung des projektorientierten Studiums vorsehen. Durch bestehende Kooperationen mit ausländischen Hochschulen sollen dabei auch Auslandssemester eingeplant werden. Darüber hinaus soll im Wintersemester 1998/99 ein neuer Studiengang "Physikalische Technologien" mit dem Schwerpunkt "Energiesysteme" eingerichtet werden, um die Physikausbildung näher an praktische Probleme der Energieträgergewinnung und Energiewirtschaft heranzuführen.

B. Stellungnahme

Die an der Technischen Universität Clausthal betriebenen Vorhaben in der Energieforschung besitzen einen engen Bezug zur Umweltforschung und werden insgesamt mit guter Qualität einschließlich weitreichende, auch internationale Kontakte durchgeführt.

An der aus einer ehemaligen Bergakademie hervorgegangenen TU Clausthal wird traditionell in großem Umfang Energierohstoff-Forschung mit einer starken Verzahnung von Natur- und Ingenieurwissenschaften betrieben. Die im Fachbereich Bergbau und Rohstoffe durchgeführten Arbeiten im Bereich Erkundung und Nutzung von Erdöl- und Erdgaslagerstätten sowie der geologischen und geophysikalischen Charakterisierung von Lagerstätten besitzen hohes Niveau. Angesichts der Tatsache, daß Clausthal ein Erdöl- und Erdgasforschungszentrum darstellt und die untersuchten Arbeiten ansonsten in Deutschland kaum noch verfolgt werden, kommt ihnen eine besondere Bedeutung zu.

Im Fachbereich Maschinen- und Verfahrenstechnik sind die Arbeiten, die sich mit dem Energieeinsatz zur Stoffbehandlung bei Hochtemperaturprozessen befassen, um bei Produktionsprozessen Energie einzusparen, sehr beeindruckend. Beachtenswert sind dabei die zahlreichen Industriekontakte insbesondere zur Grundstoffindustrie. Des Weiteren sind die Arbeiten zur bedarfsgerechten Steuerung und Aufbereitung von Energieflüssen mittels Elektronik und Automatisierungstechnik hervorzuheben. Die Arbeiten zur Brennstoffzelle stellen zwar eine integrierende Klammer für verschiedene Institute dar, berücksichtigen aber den andernorts erreichten Stand nicht immer angemessen. Der neu eingerichtete Studiengang "Energiesystemtechnik" weist interessante Perspektiven auf und ist in Clausthal richtig angesiedelt.

In Niedersachsen findet sich mit den Technischen Universitäten Braunschweig und Clausthal sowie der Universität Hannover eine Konzentration von Hochschulen mit ausgeprägt ingenieurwissenschaftlicher Ausrichtung, die bedeutende Potentiale für eine komplementäre Schwerpunktsetzung birgt. Der Wissenschaftsrat empfiehlt nachdrücklich, dieses Potential für eine abgestimmte Schärfung der Forschungsprofile der genannten Hochschulen auch im Bereich der Energieforschung zu nutzen. Dies würde den einzelnen Hochschulen größere Spielräume für den Ausbau der Kompetenzfelder in der Energieforschung eröffnen.

I.5. Universität Dortmund

A. Ausgangslage

1. Organisation und Ausstattung

1.1. Organisation

Energieforschung wird an der Universität Dortmund an verschiedenen Fakultäten und Fachbereichen und mit unterschiedlichen Schwerpunkten betrieben. In den ingenieurwissenschaftlichen Fakultäten/Fachbereichen (Chemietechnik, Elektrotechnik, Maschinenbau) ist die Energietechnik in Forschung wie in Lehre als ausgewiesener Schwerpunkt in den Strukturplänen verankert. Energiewissenschaftliche Themen werden zudem im Fachbereich Chemie, in den Fakultäten für Bauwesen und Raumplanung sowie für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften behandelt.

Das 1952 gegründete Institut für Spektrochemie und Angewandte Spektroskopie (ISAS) existiert seit Anfang der 90er Jahre als An-Institut der Universität Dortmund und hat seinen Schwerpunkt im Bereich der Analyseverfahren für Gase und Oberflächenverteilung. Seit 1972 besteht das Institut für Umweltforschung (INFU), das beratend bei der Implementierung von Maßnahmen zur Energieeinsparung in den Reformstaaten Mittel- und Osteuropas wirkt. Es fungiert als deutsches Kooperationsbüro des Moscow International Energy Club (MIEC).

Gegenwärtig existiert an der Universität Dortmund kein Sonderforschungsbereich, der dem Gebiet der Energieforschung unmittelbar gewidmet ist. Theoretische Grundlagenarbeiten werden durch methodenorientierte Vorhaben im Graduiertenkolleg "Modellierung und modellbasierte Entwicklung komplexer technischer Systeme" geleistet, in dem einige Teilprojekte in unmittelbarem Zusammenhang mit der Energieforschung stehen.

1.2. Haushalt und Personal

Hochschulweit wurden 1996 zusätzlich zu den Mitteln der Grundausrüstung rund 6,8 Mio. DM an Drittmitteln von Industrie (2,1 Mio. DM), Bund (2,0 Mio. DM), Land (1,0 Mio. DM), EU (0,9 Mio. DM) und DFG (0,8 Mio. DM) für Arbeiten in der Energieforschung eingeworben. Zu berücksichtigen sind zudem die industriellen Drittmittel in Höhe von 5,7 Mio. DM, die von den universitätsnahen Forschungseinrichtungen (siehe Abschnitt 2.4) eingeworben wurden. Nach Personenjahren waren im selben Jahr 56 Wissenschaftler in der Energieforschung tätig, von denen 30 drittmittelfinanziert waren.

1.3. Infrastruktur und Serviceeinrichtungen

Alle Energieforschung betreibenden Institute verfügen über Versuchseinrichtungen und Analysetechnik (Gerätepark im Fachbereich Chemie, Technikums- und Versuchsanlagen, Prüfumgebungen, Labore und Rechnerausstattung) für ihre jeweiligen Forschungsgebiete, die überwiegend auch von anderen hochschulinternen, teilweise auch -externen Nutzern in Anspruch genommen werden können. Für die Durchführung energiewissenschaftlicher Forschungsvorhaben greift die Universität im wesentlichen auf eigene Räumlichkeiten zurück.

Für Drittmittelprojekte insbesondere bei der Anwendungsentwicklung im Technologietransfer steht das F&E-Gebäude im Technologiepark an der Universität Dortmund zur Verfügung. Mit Hilfe von Bundes- und Landesmitteln konnte die Universität ein von der Fakultät Maschinenbau und dem Fachgebiet Fluidenergiemaschinen initiiertes neuartiges Blockheizkraftwerk realisieren. In diesem Zusammenhang wurde auch ein Technikumsgebäude für die Schraubenmotorentwicklung errichtet.

2. Wissenschaftliches Profil

2.1. Energiewissenschaftliche Tätigkeitsschwerpunkte

Die Arbeiten zur Energieforschung an der Universität Dortmund lassen sich vier Schwerpunkten zuordnen:

- Rationelle Energieanwendung

Technische Beiträge zur rationellen Energieanwendung werden sowohl auf dem Gebiet der Prozeßsynthese für technische Anlagen (Chemietechnik) wie auch bei der Entwicklung stromrichter gespeister moderner Antriebe (Elektrotechnik) erarbeitet. Auf das Gebiet der Solartechnik konzentrieren sich Arbeiten zur Nutzung von Solarenergie für Hochtemperaturprozesse (Chemietechnik; Maschinenbau: Dortmunder Sonnenofen) und zur solaren Detoxifizierung von Ammoniak und organischen Aminen in Abwässern mit photohalbleitenden Katalysatoren (Chemie). Entwurf, Planung und Bau von Niedrigenergiehäusern unter Berücksichtigung einer klimagerechten Architektur (Bauwesen) sowie Energieplanung aus raumordnerischer Sicht (Raumplanung) ergänzen diesen Themenschwerpunkt.

- Dezentrale Energieversorgung

Es werden neue Konzepte der Kraft-Wärme-Kopplung untersucht wie zum Beispiel der Einsatz von Brennstoffzellen (Elektrotechnik) sowie die Integration derartiger Energieumwandlungsanlagen in die bestehenden Versorgungssysteme.

- Kraftwerkstechnik

Die effektive Kohlenutzung steht im Vordergrund dieses Arbeitsschwerpunktes. Konkrete Themen sind Verfahren zur effizienten Nutzung von Braunkohle (Chemietechnik), die Weiterentwicklung der Kraft-Wärme-Kopplung (Energieprozeßtechnik), insbesondere der Fernwärmenutzung, sowie die Verbesserung von Großantrieben unter Berücksichtigung der Kopplung des mechanischen und elektrischen Systems in Kraftwerken.

- Systemtechnik

Im Zentrum steht die Interaktion verschiedener Teilgebiete der Energieforschung, von Bedeutung u.a. in den Forschungsfeldern 'Elektromagnetische Verträglichkeit' und 'Moderne Antriebstechnik'. Weitere Themen sind die Optimierung des Kraftwerkseinsatzes wie des Energieflusses insgesamt, die Möglichkeiten der Lastbeeinflussung wie auch der Standortplanung und Standortuntersuchung für Anlagen der Energieversorgungsinfrastruktur.

2.2. Wichtige Forschungsergebnisse

Als wichtige Forschungsergebnisse innerhalb der Energieforschung sind beispielhaft anzugeben:

- Grundsatzuntersuchungen zur Dynamik von Großantrieben
- Anlagekonzept für solarthermische Hochtemperaturprozesse,
- Realisierung des Abbaus von Ammoniak im Labormaßstab bis zu 70 %,
- Einführung von Verbundwerkstoffen in den Schraubenmaschinenbau,
- Inbetriebnahme einer Schraubenmotoranlage für das Blockheizkraftwerk der Universität Dortmund,
- Entwicklung von Meßverfahren und -einrichtungen zur systematischen Analyse von Energieversorgungsnetzen,
- Entwicklung heuristisch/numerischer Methoden zur Energieintegration in chemische Prozesse,
- Entwicklung eines Verfahrens zur mechanisch-thermischen Entwässerung von Braunkohle,
- Anwendung und Integration von modernen Methoden der Informationstechnik in die Netzleittechnik zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und Betriebssicherheit elektrischer Versorgungssysteme,
- Softwarepakete, Auslegungsnormen, Benchmark-Modelle für die Auslegung von Turbogeneratoren.

2.3. Veröffentlichungen und Patente

In den Jahren 1994 bis 1996 haben Wissenschaftler der Energieforschung betreibenden Fakultäten und Fachbereiche der Universität Dortmund rund 270 Arbeiten in Zeitschriften (98), als Konferenzberichte (126) oder in Form anderer Publikationen (45) veröffentlicht. 23 Patente wurden, überwiegend von der Fakultät für Elektrotechnik (12), im selben Zeitraum angemeldet, 14 Patente sind zwischenzeitlich erteilt.

2.4. Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Beteiligungen an internationalen Forschungsprojekten

Alle Einrichtungen der Energieforschung an der Universität Dortmund kooperieren untereinander oder mit auswärtigen Partnern. Eine ständige fächerübergreifende Zusammenarbeit existiert zwischen Teilbereichen der Energieforschung und den Materialwissenschaften. Weitere Kooperationsvorhaben zeichnen sich als Konsequenz des auf studentische Initiative zustande gekommenen Vorhabens "Nachhaltige UniDo" ab, das sich in der Energieforschung auf das Spektrum der rationellen Energieanwendung, dezentrale Energieumwandlung und Systemtechnik konzentriert. Dabei ist die Universität Dortmund selbst das konkrete Untersuchungsobjekt.

Ein großer Teil der energiewissenschaftlichen Forschungsprojekte an der Universität Dortmund ist anwendungsorientiert und erfolgt im Auftrag oder im Austausch mit der Industrie (Energieversorgungsunternehmen, Anlagenhersteller etc.). Ein intensiver Technologietransfer besteht bisher insbesondere mit einer Anzahl universitätsnaher Einrichtungen, die von Professoren der Universität Dortmund geleitet werden (Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik/UMSICHT in Oberhausen, GERTEC in Essen, Zentrum für innovative Energieumwandlung und -speicherung/EUS in Gelsenkirchen, EMV-Testzentrum/Dortmund), und einen erheblichen Teil zusätzlicher industrieller Drittmittel an sich binden. Neben der Zusammenarbeit in konkreten anwendungsorientierten Projekten, etwa mit kooperierenden Instituten im Umfeld (u.a. innerhalb der AG Solar des Landes NRW), aber auch im

Rahmen der EU und des BMBF, werden Kontakte (teilweise auf informeller Basis) zu Forschungseinrichtungen und Hochschulen in Deutschland sowie im europäischen und außereuropäischen Ausland gepflegt. Es existieren diverse Partnerschaften mit ausländischen Universitäten. Gastaufenthalte von Wissenschaftlern und Studenten werden ermöglicht, ein Austauschprogramm für Doktoranden ist in Vorbereitung.

2.5. Lehrtätigkeit und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses

Da sich ein großer Teil der Fakultäten und Fachbereiche der Universität Dortmund mit energiewissenschaftlichen Themen befaßt, haben Studierende verschiedene Möglichkeiten, ihr Studium mit entsprechenden Inhalten auszufüllen. Die Studiengänge fast aller genannter Fakultäten/Fachbereiche bieten energiewissenschaftliche Vertiefungsrichtungen an. Einen grundständigen Studiengang Energietechnik gibt es nicht. Im Kontext des vom Land NRW geförderten Studienprojekts "Nachhaltige UniDo" wurden in den vergangenen Semestern u.a. drei energierelevante Projekte über die Energienutzung an der Universität Dortmund durchgeführt.

In den Jahren 1994 bis 1996 wurden an der Universität Dortmund nach Angaben der im Bereich Energieforschung tätigen Institute ca. 1.250 Studien- und Diplomarbeiten und 40 Dissertationen angefertigt. Diplomanden und Absolventen haben die Möglichkeit der beruflichen Qualifikation in den universitätsnahen Instituten, die dafür Arbeitsplätze und Laboreinrichtungen zur Verfügung stellen.

Zur Situation des wissenschaftlichen Nachwuchses wird von Seiten der beteiligten Fakultäten und Fachbereiche darauf hingewiesen, daß es zunehmend schwieriger wird, Promotionskandidaten in ausreichender Zahl an der Universität zu halten. Dies hänge u.a. mit dem stetig zunehmenden Bedarf an Absolventen mit energietechnischer Ausbildung in der Industrie zusammen. Die zeitlich befristete wissenschaftliche Arbeit mit der Möglichkeit zur Promotion verliere angesichts unsicherer wirtschaftlicher Perspektiven an Attraktivität. In den meisten Bereichen gelingt den Absolventen, Aussagen der Fakultäten/Fachbereiche zufolge, der Wechsel in eine Beschäftigung in der Regel ohne größere Probleme.

3. Weitere Entwicklung

Von Seiten der Hochschulleitung wird die Notwendigkeit gesehen, die Energieforschung als Bestandteil der weiteren Strukturentwicklungsplanung der Universität Dortmund festzuschreiben. Zu diesem Zweck sind alle Fakultäten/Fachbereiche gebeten worden, ihre Strukturpläne zu überarbeiten.

Abgesehen von einer Ausweitung der Querverbindungen zu der Energieforschung benachbarten Wissensgebieten (Materialwissenschaften, Informationstechnik, Mikroelektronik) ist laut Aussage der Hochschulleitung daran gedacht, künftig systemwissenschaftliche Arbeiten in der Energieforschung stärker in den Vordergrund zu stellen. Dies setze eine noch stärkere Vernetzung der einzelnen Forschungsschwerpunkte voraus. Die starke regionale Einbettung in der Anwendungstechnik und den Technologietransfer - und in diesem Kontext Arbeiten zur dezentralen Energieversorgung und zur rationellen Energieanwendung - soll auch weiterhin einen hohen Stellenwert behalten. Grundsätzlich seien bei der Weiterentwicklung der Energieforschung die Aspekte Wirtschaftlichkeit, Sicherheit, Qualität und Umweltverträglichkeit von zentraler Bedeutung.

B. Stellungnahme

Die Universität Dortmund weist ein sehr gutes energiewissenschaftliches Forschungspotential auf, das die Schwerpunkte Rationelle Energieanwendung, Dezentrale Energieumwandlung, Kraftwerkstechnik und Systemtechnik umfaßt. Die energiebezogenen Forschungsarbeiten finden sich nicht nur in den Ingenieurwissenschaften und im Bereich Chemie, sondern umfassen zudem auch zahlreiche raum- wie bauplanerische Initiativen und Arbeiten mit hohem Anwendungsbezug.

Energieforschung wird an der Universität Dortmund fächerübergreifend bearbeitet, obwohl bislang keine formalen interdisziplinären Organisationen existieren. Eine wichtige Rolle bei der Energieforschung spielt der Technologietransfer, der über enge Kontakte zu Industrie und Versorgungsunternehmen erfolgt. Durch zahlreiche

kooperierende Institute im Umfeld der Universität findet eine zügige Umsetzung der Forschungsergebnisse in die Praxis statt.

Das vorhandene wissenschaftliche Potential und ihre thematische Breite versetzen die Universität Dortmund in die Lage, Fragestellungen an den Schnittstellen der Fachgebiete aufzugreifen und sich aktiv an der Entwicklung neuer Forschungs- und Lehrkonzepte zu beteiligen. So gehört beispielsweise die enge Zusammenarbeit von Ingenieuren und Architekten in der Raum- wie Bauplanung zu den hervorzuhebenden Besonderheiten der Universität Dortmund, ebenso wie ihre Vorhaben, gemeinsam mit anderen Hochschulen ein europäisches Graduiertenzentrum zu gründen und an der eigenen Hochschule einen europäischen Master-Studiengang zu etablieren.

Ansätze, die verschiedenen Forschungsfelder in enger interdisziplinärer Zusammenarbeit zu verbinden, liefern insbesondere die Forschungsarbeiten und Projekte auf dem Gebiet der Systemtechnik. Die Bestrebungen der Hochschule, künftig systemwissenschaftliche Arbeiten in der Energieforschung stärker in den Vordergrund zu stellen und die einzelnen Forschungsschwerpunkte noch besser zu vernetzen, sind in diesem Zusammenhang ausdrücklich zu begrüßen. Sie sollten einhergehen mit einer entsprechenden Fokussierung der Themen und dem verstärktem Einbezug der bereits jetzt Interesse an einer Kooperation signalisierenden Nachbardisziplinen wie zum Beispiel die Materialforschung.

Als ersten Schritt eines Ausbaus der Kooperation nach innen wertet der Wissenschaftsrat die von der Hochschulleitung bereits vorgenommene Einrichtung eines F&E-Zentrums sowie die Fortführung der Strukturentwicklungsplanung im Sinne einer stärkeren Integration energiewissenschaftlicher Inhalte und Ziele. Als zufriedenstellend, wenn auch noch ausbaubar ist die Kooperation nach außen einzuschätzen. So werden Drittmittel bisher hauptsächlich im Fachbereich Bauwesen und in den universitätsnahen Instituten eingeworben.

Nach Auffassung des Wissenschaftsrates liegt in der Konzentration mehrerer Hochschulen in den Großstädten des Ruhrgebiets eine große Chance, die von den be-

troffenen Hochschulen (Bochum, Dortmund, Duisburg, Essen) stärker als bisher im Sinne einer effektiven Zusammenarbeit genutzt werden sollte. Über die stärkere Abstimmung der einzelnen Hochschulen untereinander wäre nicht nur eine Bündelung und Konzentration von einzelnen Aktivitäten in Form von Schwerpunktbildungen in Forschung wie Lehre zu erreichen, sondern zudem eine spezifische Profilschärfung jeder einzelnen Hochschule im Bereich der Energieforschung.

I.6. Technische Universität Dresden

A. Ausgangslage

1. Organisation und Ausstattung

1.1. Organisation

Energieforschung wird an der Technischen Universität Dresden vor allem in folgenden Instituten betrieben:

- Fakultät Maschinenwesen
 - o Institut für Thermodynamik und Technische Gebäudeausrüstung
 - o Institut für Energietechnik
 - o Institut für Energiemaschinen und Maschinenlabor

- Fakultät Elektrotechnik
 - o Elektrotechnisches Institut
 - o Institut für Elektroenergieversorgung
 - o Institut für Hochspannungs- und Hochstromtechnik

- Fakultät Mathematik und Naturwissenschaften, Fachrichtung Physik
 - o Institut für Kern- und Teilchenphysik
 - o Institut für Angewandte Photophysik
 - o Institut für Physikalische Chemie und Elektrochemie

Übergreifende Strukturen und Organisationsformen der Energieforschung an der Technischen Universität Dresden wurden mit dem Graduiertenkolleg "Lokale innovative Energiesysteme" und dem Landesinnovationskolleg "Synthese wirtschaftlich und ökologisch optimierter Wärmedämmsysteme durch den Einsatz nachwachsender Rohstoffe, textiler Fasern und Werkstoffe" etabliert. Außerdem werden im Sonderforschungsbereich 463 "Seltenerd-Übergangsmetallverbindungen: Struktur,

Magnetismus und Transport" Fragen bearbeitet, die auch die Energieforschung betreffen.

Die Universität stellt für instituts- oder fakultätsübergreifende Vorhaben nach Bedarf zusätzliche Räume zu Verfügung, wobei dieser Bedarf bereits bei Beantragung von Projekten mit der Hochschulleitung abgestimmt wird. Eine über die Fakultäten hinausgehende Personal- und Sachmittelausstattung im Bereich der Energieforschung ist insofern gegeben, als die Haushaltsmittel der Institute mit den eingeworbenen Drittmitteln steigen.

An der Technischen Universität besteht ein Arbeitskreis Energieforschung, der neue größere Vorhaben plant (vgl. Abschnitt 3). Außerdem beteiligen sich Wissenschaftler der TU an einem EU-Arbeitskreis Umwelt/Energieforschung des Sächsischen Staatsministeriums für Wissenschaft und Kunst, der die Integration sächsischer Wissenschaftler in EU-Programme und in die internationale Forschung fördert.

1.2. Haushalt und Personal

Die Fakultät Maschinenwesen warb für die Energieforschung im Jahr 1996 Drittmittel von 8 Mio. DM ein, die Elektrotechnik 3,5 Mio. DM und Mathematik/Naturwissenschaften 0,5 Mio. DM.

Nach Personenjahren waren im Jahr 1996 161 Wissenschaftler der TU Dresden in der Energieforschung tätig, davon wurden 86 mit Drittmitteln finanziert. Der überwiegende Teil der Wissenschaftler war in der Fakultät Maschinenwesen tätig (116, davon 62 über Drittmittel finanziert).

1.3. Infrastruktur und Serviceeinrichtungen

Die Institute, der Technischen Universität Dresden, in denen Energieforschung betrieben wird, nutzen zahlreiche größere Infrastruktureinrichtungen, darunter:

- Niedergeschwindigkeits-Verdichterprüfstand
- Kraftwerktechnisches Labor und Anlagen für Brennstoffuntersuchungen
- Ausbildungskernreaktor (AKR)
- Siedewasserreaktor-Naturumlaufschleife DANTON
- Fernwärmeversuchsanlage
- Versuchsanlagen zur Verbrennung von konventionellen und regenerativen Brenn- und Abfallstoffen (Staub-, Wirbelschicht- und Rostfeuerung)
- nichtisothermer Brennkammerprüfstand zur Modellierung der Reaktionskinetik, Strömungsverhältnisse und Schadstoffbildung
- Hochtemperaturprüfstand
- Anlage zur Messung von Strömungsfeldern in hydraulischen Turbomaschinen
- gepulste Neutronenquelle

2. Wissenschaftliches Profil

2.1. Energiewissenschaftliche Tätigkeitsschwerpunkte

Schwerpunkte der Energieforschung sind in der Fakultät für Maschinenwesen Projekte zur Systemuntersuchung zur Kraftwerkstechnik, zur thermischen Nutzung von konventionellen und regenerativen Brenn- und Abfallstoffen, zum Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung, zur verstärkten Nutzung regenerativer Energiequellen, zur Kernenergie-technik sowie Forschungsarbeiten zur Energieeinsparung bei der Gebäudeheizung durch verbesserte Wärmedämmung und Nutzung der Solarenergie.

In der Fakultät Elektrotechnik stehen Forschungsarbeiten zur Dynamik großer Energieversorgungssysteme, Netzeinbindung von Kleinkraftwerken, wie z.B. Photovoltaik- und Windkraftanlagen, zu Fragen der Elektroenergiequalität und zu Stromrichter-Netzurückwirkungen, zur EMV-Analyse, zu neuen Schaltungsstrukturen der Leistungselektronik, zur Entwicklung verlustarmer elektrischer Maschinen, zur optimalen Steuerung elektrischer Antriebssysteme und zur Hochspannungs- und Hochstromtechnik im Mittelpunkt.

Darüber hinaus arbeitet die Technische Universität in weiteren Fakultäten auf den Gebieten Kernspaltung, Kernfusion, Solartechnik, Windenergie, Biomasse, Geothermie, Hochleistungsbatterien, Brennstoffzellen, Wasserstofftechnik, Energiespeicher und energieoptimiertes Bauen.

2.2. Wichtige Forschungsergebnisse

Für die Fakultät Maschinenwesen werden folgende Ergebnisse in der Energieforschung hervorgehoben:

- Verfahrensverbesserungen bei der Verbrennung von fossilen Brenn- und Abfallstoffen (Rohbraunkohle, Klärschlamm, Müll und nachwachsende Rohstoffe, Gasturbinenbrennstoffe)
- Senkung von Energiekosten und Emissionen für Heizungssysteme und Lüftung (Modellierung Raumluftrömung)
- Entwicklung einer Versuchswärmepumpe mit CO₂ als Arbeitsmittel, mit der bis ca. 20 kW Heizleistung Leistungszahlen von 3,4 bis 4,1 erreicht wurden.

Für die Fakultät Elektrotechnik werden folgende Ergebnisse der Energieforschung hervorgehoben:

- Aussagen zu Netzpendelungen in großen Verbundsystemen
- Bewertung von Isolierungen mit Kunststoffen
- Aussagen zur Stromfähigkeit elektrischer Betriebsmittel
- Verhalten von Verbindungen in der Elektroenergietechnik

- Verlusteinsparung durch optimale Steuerung und Integration bei elektrischen Antrieben

Wichtige Ergebnisse der Energieforschung im Zusammenhang mit dem Graduiertenkolleg "Lokale Innovative Energiesysteme" werden auf folgenden Gebieten genannt: Pulsstromrichter zur Energieumformung, Netzfrequenzfreundliche Antriebe, Parameteridentifikation für die Energietechnik, Analyseverfahren für die Qualität der

Elektroenergie und der Netzurückwirkungen, Modellierung und Berechnung von Verbrennungsvorgängen.

Im Institut für Kern- und Teilchenphysik wurden Experimente durchgeführt, mit denen die neutronenphysikalische Datenbasis für die Fusionsreaktorentwicklung getestet wurde. Außerdem wurden die spektralen Neutronen- und Photonenflüsse im Modell des ITER-Abschirmsystems gemessen. Das Institut für Photophysik lieferte einen Beitrag zur Aufklärung der Rekombinationsmechanismen in Solarzellen aus Kupferindiumdiselenid (CIS).

2.3. Veröffentlichungen und Patente

Wissenschaftler der in der Energieforschung tätigen Fakultäten der Technischen Universität Dresden haben in den Jahren 1994 bis 1996 136 Veröffentlichungen in Zeitschriften, 186 Konferenzberichte sowie 113 weitere Veröffentlichungen publiziert.

Die TU Dresden hat ein Patentinformationszentrum eingerichtet, das Wissenschaftler und Erfinder bei Recherchen unterstützt und bei Patentanmeldungen berät. Mit Hilfe eines Fonds können Patentanmeldungen finanziell unterstützt werden. Mit Mitteln der TU Dresden wurden in den Jahren 1994 bis 1996 9 von insgesamt 19 Patentanmeldungen in der Energieforschung (Elektrotechnik 2, Maschinenwesen 17) finanziert.

2.4. Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Beteiligung an internationalen Forschungsprojekten

Forschungsprojekte in der Energieforschung werden häufig intern mit Partnern der Technischen Universität Dresden oder mit externen Partnern durchgeführt. Dabei bestehen Arbeitskontakte sowohl zu den anderen Technischen Hochschulen und Universitäten des In- und Auslands als auch - auf regionaler, nationaler und interna-

tionaler Ebene - zu außeruniversitären Forschungseinrichtungen. Außerdem sind in zahlreiche Projekte industrielle Partner eingebunden.

Die Technische Universität Dresden betreibt mit der russischen Akademie der Naturwissenschaften ein gemeinsames Internationales Laboratorium "Innovative Energietechnik". Darüber hinaus pflegt die TU im Rahmen eines Forschungsverbundes Mittel- und Osteuropa Arbeitsbeziehungen mit dortigen Wissenschaftlern; von sechzehn bewilligten Projekten innerhalb dieses Verbundes fallen zwei in den Energiebereich, die Mehrzahl ist in der Umweltforschung angesiedelt.

2.5. Lehrtätigkeit und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses

Innerhalb des Studienganges Maschinenbau der TU Dresden wurde eine Studienrichtung Energietechnik mit folgenden Studienformen eingerichtet:

- grundständiges Direktstudium (1996: 89 Studenten im Hauptstudium, davon 12 im 5. Semester; 59 Absolventen),
- grundständiges Fernstudium (keine Studenten im Hauptstudium, da erst 1994 eingerichtet),
- Aufbaustudium für Absolventen einer Fachhochschule als Fernstudium (1996: 37 Studenten),
- Promotionsstudium (1996: 8 Doktoranden).

Von der Fakultät Maschinenwesen werden zusätzlich zu dieser Studienrichtung Energietechnik die Richtungen Technische Gebäudeausrüstung (1996: 44 Absolventen) und Thermodynamik mit Studienangeboten im Energiebereich genannt. Innerhalb des Studiengangs Elektrotechnik wird Elektroenergietechnik als eine von fünf wählbaren Studienrichtungen mit den Studienschwerpunkten "Leistungselektronik und Antriebe" und "Energieversorgung und Hochspannungstechnik" angeboten. Das energietechnisch orientierte Baccalaureatstudium und ein Studienschwerpunkt "Mechatronik" sind in Vorbereitung (1997 begonnen).

Das Institut für Kern- und Teilchenphysik bietet eine Vorlesung und ein Praktikum zur Kernphysik an, die außerdem physikalisches Wahlpflichtfach ist. Eine Vorlesung zur Solarenergie wird vom Institut für Angewandte Photophysik angeboten.

Nach Angaben der Fakultäten und Institute wurden in den Jahren 1994 bis 1996 insgesamt 534 Studien- und Diplomarbeiten in der Energieforschung abgeschlossen. Im selben Zeitraum wurden 30 Dissertationen und eine Habilitationsschrift angefertigt.

Im Blick auf die Situation des wissenschaftlichen Nachwuchses wird die sinkende Zahl der Studierenden im Gebiet der Energieforschung beklagt, die kurz- und mittelfristig zu einer Schwächung des Potentials an wissenschaftlichem Nachwuchs führen werde. Vor dem Hintergrund der in Deutschland von 1990 bis 1996 auf 35 % gesunkenen Zahl der Studienanfänger im Studiengang Elektrotechnik erfolgte auch ein deutliches Absinken der Studierenden in der Studienrichtung Elektroenergietechnik.

Die beruflichen Aussichten für Absolventen im Energiebereich waren außerhalb von Hochschulen bereits in den zurückliegenden drei Jahren gut, und es wird von einer sich verstärkenden Belebung des Arbeitsmarktes für Ingenieure ausgegangen. Deshalb wird eine "Abwanderungsbewegung" von Mitarbeitern in die Industrie erwartet.

Mit Rückgang der Studentenzahlen sind in den Fakultäten Maschinenwesen und Elektrotechnik Stellenbesetzungssperren wirksam geworden, die den Bestand der haushaltsfinanzierten Stellen mindern (10 % der Stellen sind gesperrt). In der Folge hat sich die Anzahl der drittmittelfinanzierten Beschäftigungsverhältnisse stark erhöht.

Das Institut für Kern- und Teilchenphysik fürchtet, daß aufgrund des geringen Interesses der Studenten an diesem Teilgebiet der Energieforschung der erreichte Kenntnisstand mit Ausscheiden der jetzigen Generation in wesentlichen Teilen verlorengelange.

3. Weitere Entwicklung

Der Konzentrationsprozeß zur Energietechnik wurde 1997/98 mit der wissenschaftlichen Konzeption zur Schaffung des Zentrums Energietechnik eingeleitet. Dieses Zentrum soll Schwerpunkte in Kernenergie-, Kraftwerks-, Wärme- und Elektrotechnik bilden sowie weiteren Fakultäten (z.B. Mathematik und Naturwissenschaften, Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften) und Instituten der TU Dresden geeignete technische Infrastruktur und Möglichkeiten zu Experimenten für Forschung und Lehre bieten.

Für die Weiterentwicklung in Forschung, Lehre und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses sind darüber hinaus folgende Vorhaben geplant:

- Graduiertenkolleg "Kerntechnik" (in Zusammenarbeit mit der Kerntechnischen Gesellschaft),
- interdisziplinäres Forschungsvorhaben "Entwicklung und Optimierung von Verfahren und Anlagen der Energieumwandlung und -anwendung im Hinblick auf Ressourcenschonung und Umweltbelastung",
- Innovationskolleg "Anwendung erneuerbarer Energien und innovative Energieversorgung",
- EMV-Prüfzentrum.

B. Stellungnahme

Die Technische Universität Dresden ist eine der ältesten Technischen Hochschulen Deutschlands, in der Energieforschung traditionell ein hohes Gewicht zukommt. Ihre gegenwärtigen energiebezogenen Aktivitäten sind sehr breit angelegt. Einzelne Arbeitsbereiche sind von sehr guter oder guter Qualität, andere verfolgen interessante Forschungsansätze, die allerdings noch zu optimieren sind. Daneben werden zum Beispiel in Bereichen der Elektrotechnik klassische Themen bearbeitet, die aber andernorts bereits erfolgreich etabliert sind. Es wird in den nächsten Jahren darauf ankommen, durch geeignete Schwerpunktbildungen und thematische Fokussierung in

der Energieforschung an Profil zu gewinnen. Auf diese Weise kann es der TU Dresden in diesem Fachgebiet gelingen, im Wettbewerb auf nationaler und internationaler Ebene erfolgreich zu bestehen.

Unter forschungspolitischen Gesichtspunkten ist die leistungsbezogene Zuweisung von Ressourcen innerhalb der TU Dresden zu begrüßen, die auch künftig die erforderliche Bildung von Schwerpunkten fördern kann. Die aktive und erfolgreich betriebene Patentpolitik der TU Dresden ist für den Wissenstransfer in die Wirtschaft sehr nützlich. Die traditionell engen Beziehungen zu osteuropäischen Wissenschaftlern sollten weiter gepflegt, in der Energieforschung intensiviert und durch entsprechende Mittel gefördert werden.

Die in den zurückliegenden Jahren in Kooperation mit dem Forschungszentrum Karlsruhe geleisteten Arbeiten zur Fusionsneutronik sind von hoher wissenschaftlicher Qualität. Sie verfolgen interessante physikalische Fragestellungen und leisten außerdem wichtige Beiträge zur Überprüfung der Simulationsprogramme und für den Aufbau von Datenbanken.

Den Forschungsarbeiten, die im Graduiertenkolleg "Lokale Innovative Energiesysteme" durchgeführt werden, liegt eine wichtige, heute vielfältig diskutierte Fragestellung zugrunde. Die Bearbeitung solcher "lokalen Netze" unter System-Gesichtspunkten ist sehr zu begrüßen. Damit können ganzheitlich orientierte Antworten erwartet werden.

Die im Institut für Energietechnik verfolgten Arbeiten im Rahmen der Kraftwerkstechnik, speziell die Verbrennungsforschung für Abfall- und Biosubstanzen, zeichnen sich vor allem durch Anwendungsbezogenheit aus. Die Arbeiten werden durch hohe Drittmittel unterstützt.

Die Aktivitäten zur Energieoptimierung im Bauwesen an der TU Dresden greifen wichtige Fragen auf, so insbesondere das energiesparende und klimagerechte Bauen sowohl bei Alt- als auch bei Neubauten, die Analyse und Simulation von technischer Gebäudeausrüstung sowie die Entwicklung von Wärmedämmsysteme-

men. Diese Arbeiten sind vor allem bezüglich der Altbausanierung von Bedeutung, erscheinen allerdings hochschulintern nicht genügend untereinander verbunden.⁴⁴

Die geplante Kooperation von Maschinenbau und Elektrotechnik, eine verbesserte instituts- und fachbereichsübergreifende Kommunikation und Zusammenarbeit sowie eine Fokussierung auf innovative und interdisziplinäre Projekte ist allerdings noch nicht in dem wünschenswerten Maße gelungen.

⁴⁴ Eine Vernachlässigung des System-Gedankens in diesem Arbeitsgebiet ist bundesweit festzustellen. Vgl. auch die übergreifende Stellungnahme zur rationellen Energieanwendung in Teil A.VI.

I.7. Universität - Gesamthochschule Duisburg

A. Ausgangslage

1. Organisation und Ausstattung

1.1. Organisation

An der Universität-Gesamthochschule Duisburg (U-GH) beschäftigen sich die fünf Fachbereiche Chemie - Geographie, Maschinenbau, Hüttentechnik - Gießertechnik, Elektrotechnik und Physik - Technologie (in insgesamt 14 Fachgebieten) mit energietechnischen Fragestellungen.

Der Schwerpunkt der Aktivitäten liegt in den Fachbereichen Maschinenbau und Elektrotechnik, in denen grundständige Studiengänge im Bereich Energietechnik angeboten werden. Eine Gruppe von Wissenschaftlern plant derzeit die Bildung eines Schwerpunktes Energieforschung. Eine über die Fakultäten hinausgehende Personal-, Sachmittel- oder Raumausstattung im Bereich der Energieforschung ist nicht vorhanden. Es bestehen im Bereich der Energieforschung keine größeren übergreifenden Strukturen und Organisationsformen in Form von Sonderforschungsbereichen oder Graduiertenkollegs. Einzelne energiewissenschaftliche Themen werden im SFB 209 "Stoff- und Energiehaushalt in Aerosolen" verfolgt.

1.2. Haushalt und Personal

Ergänzend zu den Mitteln aus der Grundausrüstung haben die Institute für Projekte in der Energieforschung im Jahr 1996 insgesamt rund 5,9 Mio. DM Drittmittel eingeworben, davon von der DFG 2,8 Mio. DM, Industrie 1,7 Mio. DM, Land 0,6 Mio. DM, AiF 0,4 Mio. DM, Bund und EU je 0,2 Mio. DM.

Nach Personenjahren waren im Jahr 1996 95 Wissenschaftler in der Energieforschung tätig, davon wurden 49 über Drittmittel finanziert. Der größte Teil der Wissenschaftler (67 %) stammt aus dem Fachbereich Maschinenbau.

1.3. Infrastruktur und Serviceeinrichtungen

Die Infrastruktureinrichtungen der Fachgebiete (u.a. Motorenprüfstände, Stoßwellenrohre, Laboratorien für Elektrische Maschinen und Leistungselektronik, Hochspannungslabor, Strahlungsmeßplatz, Workstations) werden fast ausschließlich intern, z.B. zur Durchführung von Forschungsprojekten und Industrieaufträgen oder zu Lehrzwecken, genutzt.

2. Wissenschaftliches Profil

2.1. Energiewissenschaftliche Tätigkeitsschwerpunkte

Die Arbeitsschwerpunkte der Energieforschung an der U-GH Duisburg liegen im Fachbereich Maschinenbau u.a. in den Bereichen Energiesystemanalyse, Chemische Energierückgewinnung, Brennstoffzellenentwicklung, Strömungsverhältnisse in hochbelasteten thermischen Turbomaschinen und Kreiselpumpen, Reaktionskinetik, Verbrennungs- und Flammenprozesse, Reaktions- und Transportvorgänge in Gas-Partikel-Gemischen und Energetische Abfallverwertung. Der Fachbereich Elektrotechnik beschäftigt sich im Rahmen der Energieforschung insbesondere mit der Kabelentwicklung, mit Spezialfragen des Großmaschinenbaus und mit der Netzteiltechnik. Im Fachbereich Chemie - Geographie findet die Entwicklung wiederaufladbarer metallfreier Batterien statt. Der Fachbereich Hüttentechnik - Gießereitechnik betreibt Temperaturstrahlungsmessung, und im Fachbereich Physik - Technologie wird Optische Biogas-Sensorik verfolgt.

2.2. Wichtige Forschungsergebnisse

Als wichtige Forschungsergebnisse der Energieforschung sind beispielhaft anzuführen:

- Charakterisierung von Membran-Brennstoffzellen,
- Berechnung der Strömungen in Turbomaschinenkomponenten unter besonderer Berücksichtigung von Verlusten,

- Ermittlung wichtiger Reaktionskoeffizienten von homogenen Schadstoffreaktionen und Kohlenwasserstoffreaktionen,
- Erkenntnisse zur Bildung von Rußpartikeln, Modellierung von Gas/Partikel-Strömungen,
- Entwicklung von zwangsgekühlten Kabeln, z.B. Bündelkühlung,
- Erstellung eines flexiblen Rechenmodells für Photovoltaikanlagen beliebiger Auslegung,
- Realisierung von metallfreien wiederaufladbaren Batterien,
- Ermittlung des Einflusses der spektralen Emissionsgrade von Hochemissions-Coatings auf den Wänden von Industrieöfen auf die Wärmeübertragung,
- neue Meßprinzipien der optischen Chemosensorik.

2.3. Veröffentlichungen und Patente

In den Jahren 1994 bis 1996 haben Wissenschaftler der in der Energieforschung tätigen Fachbereiche der U-GH Duisburg etwa 350 Arbeiten (in begutachteten Zeitschriften und als Konferenzberichte sowie weitere Publikationen) veröffentlicht. Im selben Zeitraum wurden 13 Patente angemeldet (7 vom Fachgebiet Elektrische Energieübertragung), von denen bis 1998 acht erteilt wurden.

2.4. Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Beteiligung an internationalen Forschungsprojekten

Die Fachgebiete der Energieforschung an der U-GH Duisburg arbeiten untereinander und mit auswärtigen Partnern zusammen. Es bestehen zahlreiche Kooperationen mit einschlägigen Industrieunternehmen auf nationaler und internationaler Ebene. Der Umfang der einzelnen Projekte erstreckt sich von der Erstellung von Diplomarbeiten bis hin zu Forschungsaufträgen (u.a. im Rahmen des BMBF-Leitprojektes "Membranbrennstoffzellen für Fahrzeug-Antriebe"). Innerhalb der AG Solar des Landes NRW werden Kontakte mit kooperierenden Einrichtungen im Umfeld gepflegt. Darüber hinaus bestehen Kooperationsbeziehungen zu verschiedenen Universitäten im Inland (u.a. RWTH Aachen, Universität Würzburg, Universität Stuttgart) und im Ausland (u.a. in Japan, Rußland, Schweden, USA).

Ferner wird mit dem Forschungszentrum Jülich, dem DLR in Stuttgart, dem Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme in Freiburg sowie dem Bayerischen Zentrum für Angewandte Energieforschung zusammengearbeitet. Die Duisburger Institute beteiligen sich daneben an den EU-Programmen BRITE/EURAM und JOULE.

2.5. Lehrtätigkeit und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses

Die Schwerpunkte der Lehre im Bereich der Energieforschung liegen in den Fachbereichen Maschinenbau und Elektrotechnik, in denen grundständige Studiengänge (D I, D II)⁴⁵ im Bereich Energietechnik angeboten werden.

Für die im WS 94/95 eingerichtete Studienrichtung Energietechnik im Studiengang Maschinenbau bestehen Vertiefungsangebote im Rahmen der Wahlpflichtfächer Energie- und Wärmewirtschaft, Alternative Energien, Strömungsmaschinen, Kraft- und Arbeitsmaschinen und Abfalltechnik (D I). Für den D II-Studiengang werden zwölf Wahlpflichtfächer angeboten. Die Studienanfänger- sowie Studierendenzahl für das Jahr 1996 beliefen sich auf jeweils 15, Abschlüsse gibt es nach der neuen Diplomprüfungsordnung derzeit noch nicht. Im Jahr 1996 belegten 45 Studierende nach der bisherigen Diplomprüfungsordnung Vertiefungsfächer in der Fachrichtung Energietechnik. Von diesen erhielten 26 Studierende im Jahr 1996 einen Abschluß.

Im Fachbereich Elektrotechnik gibt es innerhalb des Studiengangs Elektrotechnik die Studienrichtung Mikroelektronik/Elektrische Energietechnik (D I) sowie die Studienrichtung Elektrische Energietechnik (D II) mit den Vertiefungsrichtungen Automatisierungstechnik, Antriebstechnik, Energieumwandlung und Transport sowie Energieleittechnik. Außerdem existiert der Ergänzungsstudiengang Elektrotechnik mit der Studienrichtung Energieübertragungstechnik. 1996 gab es im Bereich der Energietechnik 23 Studienanfänger (16 % der gesamten Studienanfänger Elektrotechnik). Insgesamt waren 1996 im Bereich Energietechnik 198 Studierende

⁴⁵ Die Diplomstudiengänge D I sind in der Regel kürzer und anwendungsorientierter als die den herkömmlichen Diplomstudiengängen entsprechenden D II.

eingeschrieben (14 % der Studierenden der Elektrotechnik), von denen 17 im gleichen Jahr ein Examen abgelegt haben.

In den Jahren 1994 bis 1996 wurden an der Universität - GH Duisburg nach Angaben der in der Energieforschung tätigen Fachgebiete 156 Diplomarbeiten, 132 Studienarbeiten und 15 Dissertationen angefertigt.

Zur Situation des wissenschaftlichen Nachwuchses weisen die in der Energieforschung tätigen Fachgebiete darauf hin, es werde zunehmend schwieriger, eine ausreichende Anzahl qualifizierter Nachwuchskräfte auszubilden. Besonders im Bereich der Brennstoffzellenforschung gebe es zu wenig wissenschaftlichen Nachwuchs. Absolventen hätten in der Regel keine Probleme, Anstellungen in der Industrie zu finden. Durch die künftig zu erwartende starke Nachfrage von Industrie und Hochschulen nach gut ausgebildeten Ingenieuren sei die Arbeitsmarktlage für die Absolventen insgesamt als positiv zu bewerten. Insbesondere im Bereich der Elektrotechnik werden die Berufschancen der Absolventen als ausgesprochen gut eingeschätzt.

3. Weitere Entwicklung

Nach Angaben der Hochschulleitung ist an eine Veränderung der in der Energieforschung tätigen Fachgebiete derzeit nicht gedacht.

B. Stellungnahme

Energiewissenschaftliche Fragestellungen werden an der Universität GH Duisburg schwerpunktmäßig in den Fachbereichen Maschinenbau und Elektrotechnik mit insgesamt guter Qualität in überschaubarem Rahmen bearbeitet.

Die Forschung an der U-GH Duisburg ist traditionell durch die Bereiche Kohle, Stahl und Eisen geprägt. Die Aktivität in der Energieforschung ist daher überwiegend

darauf bezogen. Überzeugend sind insbesondere die Arbeiten im Bereich Maschinenbau, die sich mit der Reaktionskinetik von Schadstoff-Reaktionen, Verbrennungs- und Flammenprozessen und dem Reaktionsverhalten von Hochtemperatur-Aerosolen befassen. Auch verdienen die Arbeiten über Membran-Brennstoffzellen und metallfreie wiederaufladbare Batterien Erwähnung. Die vielfältigen Forschungs Kooperationen mit Industrieunternehmen auf nationaler und internationaler Ebene tragen zu einer praxisorientierten Ausrichtung der Forschung bei und schlagen sich auch in einem entsprechend hohen Dritt-mittel-aufkommen und zahlreichen Patentanmeldungen der U- GH Duisburg nieder.

Insgesamt kann an einer kleinen Hochschule wie der U-GH Duisburg naturgemäß kein umfassendes Programm der Energietechnik angeboten werden. Daher liegt nach Auffassung des Wissenschaftsrates in der Konzentration mehrerer Hochschulen des Ruhrgebietes eine große Chance, die sowohl vom Land als auch von den betroffenen Hochschulen selbst (Bochum, Dortmund, Duisburg, Essen) stärker als bisher im Sinne einer effektiven Zusammenarbeit genutzt werden sollte. Über die stärkere Abstimmung der einzelnen Hochschulen untereinander wäre nicht nur eine Bündelung und Konzentration von einzelnen Aktivitäten in Form von Schwerpunktbildungen in Forschung wie Lehre zu erreichen, sondern zudem eine spezifische Profilschärfung jeder einzelnen Hochschule im Bereich der Energieforschung. Deshalb wird es nach Ansicht des Wissenschaftsrates künftig darauf ankommen, ein sowohl hochschulinternes als auch -übergreifendes Konzept für die Energieforschung zu entwickeln, das die einzelnen qualitativ guten Bereiche auch in ihrer mittelfristigen Perspektive berücksichtigt.

I.8. Technische Universität Bergakademie Freiberg

A. Ausgangslage

1. Organisation und Ausstattung

1.1. Organisation

Energieforschung wird an der Technischen Universität Bergakademie Freiberg in Instituten der Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik sowie der Fakultät für Chemie und Physik betrieben.

Die Forschungsaktivitäten der einzelnen Institute werden daneben in einer Reihe übergreifender Einrichtungen zusammengeführt: Für Lehr- und Forschungszwecke auf den Gebieten Energieanwendungstechnik, Kraftwerkstechnik und Regenerative Energien stehen mit dem "Energiepark" am Lehr- und Besucherbergwerk "Reiche Zeche" der Hochschule Praktikums- und Demonstrationsanlagen zur Verfügung, die von Instituten der Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik gemeinsam genutzt werden. Das Interdisziplinäre Ökologische Zentrum, eine 1996 gegründete zentrale wissenschaftliche Einrichtung zur Förderung und Koordination interdisziplinärer Zusammenarbeit auf dem Gebiet der umweltbezogenen Lehre und Forschung, befaßt sich u.a. mit dem Themenkomplex "Regenerative Energien und Ökologie".

An der Technischen Universität Bergakademie Freiberg wurden zwei Graduiertenkollegs eingerichtet, in denen Themen der Energieforschung bearbeitet werden: "Transportvorgänge in porösen Systemen der Verfahrens- und Geotechnik (TPS)" für den Zeitraum von 1997 bis 2000 mit einer Ausstattung von 19 Stipendien und "Kristallisation und Crystal Engineering (KCE)", für welches von 1995 bis 1998 elf Stipendien zur Verfügung stehen.

Seit dem Jahr 1993 veranstaltet die Hochschule jährliche Tagungen zum Thema "Energie und Umwelt", im Rahmen derer die in der Energieforschung tätigen Fakul-

tätsangehörigen anwendungsorientierte Themen vorstellen, um den Technologietransfer zu in der Region ansässigen Wirtschaftsunternehmen zu intensivieren. Stärker theorie- und grundlagenorientiert ausgerichtet ist die jährliche Tagung "Berg- und Hüttenmännischer Tag", die sich alle zwei Jahre mit Fragen der Energieforschung befaßt.

1.2. Haushalt und Personal

Hochschulweit wurden 1996 zusätzlich zu den Mitteln der Grundausstattung 6,1 Mio. DM an Drittmitteln für Arbeiten in der Energieforschung eingeworben; größte Drittmittelgeber waren der Bund (2,2 Mio. DM) und die Industrie (1,8 Mio. DM). Der Personaleinsatz in der Energieforschung betrug im selben Jahr nach Personenjahren 74 Wissenschaftler, 44 davon waren drittmittelfinanziert. 1993 wurde vom Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft eine Stiftungsprofessur für Gastechnik eingerichtet.

1.3. Infrastruktur und Serviceeinrichtungen

Der "Energiepark" am Lehr- und Besucherbergwerk der Hochschule umfaßt ein Kraftwerkstechnikum, verschiedene Praktikumsversuchsstände u.a. zur Solarwärmennutzung, zur Windertragsmessung und zur Brennwerttechnik, eine windkraftbetriebene Abwasserreinigungsanlage und eine Anlage zur Ermittlung des Speichervermögens von Grubenräumen für Wärme, die teilweise auch externen Nutzern zur Verfügung stehen. Daneben verfügen alle Energieforschung betreibenden Institute über Versuchseinrichtungen und Analysetechnik für ihre jeweiligen Forschungsgebiete, die überwiegend auch von anderen hochschulinternen und -externen Nutzern in Anspruch genommen werden können.

2. Wissenschaftliches Profil

2.1. Energiewissenschaftliche Tätigkeitsschwerpunkte

Das Forschungsprofil der Technischen Universität Bergakademie Freiberg ist ausgerichtet an naturwissenschaftlichen und technischen Fragestellungen zu Stoffen und Stoffkreisläufen, an Fragen der Umweltforschung und Ökologie sowie damit in Verbindung stehenden ökonomischen und systematischen Fragestellungen. Entsprechend überwiegen auf energiewissenschaftlichem Gebiet Forschungen im Bereich der Brennstofftechnik, der Energietechnik des Metall- und Silikathüttenwesens, der Materialentwicklung für Energiewandlung und Wärmedämmung sowie der Regenerativen Energien und der Ökologie.

An der Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik befaßt sich das Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik mit der energetischen und technischen Optimierung von Hochtemperaturanlagen, der Verbesserung von Gasanlagen insbesondere hinsichtlich Sicherheit und Umweltschutz, der Charakterisierung von Wärmedämmstoffen, der energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe sowie der Energiespeicherung im Erdreich und in Bergwerksanlagen. Am Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, das sich fast ausschließlich mit Energieforschung befaßt, wird überwiegend anwendungsorientierte Forschung zu thermisch-chemischen Prozessen der Energieträgerwandlung mit Schwergewicht auf der Brennstofftechnik für feste und flüssige Energieträger (Erdölprodukte, Kohlen, Abfälle, Biomasse) betrieben. Das Institut für Silikattechnik befaßt sich mit Forschungen auf dem Gebiet der Hydrothermaltechnologie, der Entwicklung von Wärmedämmstoffen für das Bauwesen und für Hochtemperaturanlagen. Der Lehrstuhl Agglomerationstechnik und Luftreinhaltung des Instituts für Thermische Verfahrenstechnik, Umweltverfahrenstechnik und Agglomerationstechnik entwickelt Technologien und Verfahren zur kostengünstigen, effizienten und schadstoffarmen Agglomeration von Brennstoffen. An der Fakultät für Chemie und Physik befaßt sich das Institut für Experimentelle Physik mit Forschungen auf dem Gebiet der Materialentwicklung für Solarzellen. Die Entwicklung von Energie- und Wasserstoffspeichern mit hoher Dichte steht im Mittelpunkt der Forschungen am Institut für Physikalische Chemie.

2.2. Wichtige Forschungsergebnisse

Am Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik konnte der Nachweis der Effizienz untertägiger Wärmespeicher in Wasserschichten erbracht werden. Auch konnten die hier geleisteten Grundlagenuntersuchungen auf dem Gebiet der energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe in ein Konzept für eine Pilotanlage umgesetzt werden. Die Entwicklung eines Verfahrens für die schadstoffarme Verbrennung hochmolekularer, feststoffhaltiger organischer Rückstände wird vom Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen als eines seiner bedeutenden Forschungsergebnisse genannt. Am Institut für Silikattechnik wurden Erfolge bei der Entwicklung leistungsfähiger Hochtemperaturwärmedämmstoffe erzielt. Am Institut für Thermische Verfahrenstechnik, Umweltverfahrenstechnik und Agglomerationstechnik wurden verbesserte Agglomerationsverfahren für verschiedene Kohlen, insbesondere Braunkohlen entwickelt, die zum Teil industriell umgesetzt sind.

Am Institut für Experimentelle Physik wurden in Kooperation mit einschlägigen Freiburger Unternehmen Verfahren zur Analyse von Solarzellen-Materialien weiterentwickelt sowie neuartige Halbleitermaterialien für Solarzellen untersucht; im Bereich der physikalischen Chemie wurde eine neuartige Methode aufgezeigt, ein chemisches Reaktionssystem als Speicher für Energie und Wasserstoff mit ungewöhnlich hoher Dichte zu nutzen.

2.3. Veröffentlichungen und Patente

Wissenschaftler der Technischen Universität Bergakademie Freiberg veröffentlichten in den Jahren 1994 bis 1996 rund 150 Arbeiten zur Energieforschung in Zeitschriften, als Konferenzberichte oder in Form anderer Publikationen. Circa 20 Patente wurden, teils über Industriebetriebe, angemeldet; für das Jahr 1997 sind drei weitere Anmeldungen vorgesehen.

2.4. Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Beteiligungen internationalen Forschungsprojekten

Ein großer Teil der energiewissenschaftlichen Forschungsprojekte an der Technischen Universität Bergakademie Freiberg ist anwendungsorientiert und erfolgt im Auftrag der Industrie, vornehmlich von Energieversorgungsunternehmen, Unternehmen der chemischen Industrie (Metallurgie) und Unternehmen aus dem Bereich Anlagenbau. Institute der Hochschule sind auch in Verbundprojekte des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie, besonders im Bereich Solarenergie, eingebunden. Einen hohen Stellenwert nimmt die Kooperation mit anderen Instituten innerhalb der Freiburger Hochschule ein, daneben werden Kooperationsbeziehungen zu einer Reihe von weiteren Hochschulen in Deutschland sowie im europäischen und außereuropäischen Ausland gepflegt. Mit universitären und außeruniversitären Partnern arbeiten Wissenschaftler der Hochschule außerdem in internationalen Forschungsk Kooperationen zusammen, die durch öffentliche und private Förderer unterstützt werden.

2.5. Lehrtätigkeit und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses

Ein grundständiger Studiengang Energietechnik wird in Freiberg nicht angeboten, möglich ist jedoch die Wahl von energiewissenschaftlichen Studienrichtungen in den Studiengängen Maschinenbau, Verfahrenstechnik und Umwelt-Engineering. Im Studiengang Maschinenbau studierten 1996 19 Studierende in der Studienrichtung Energietechnik mit den Vertiefungen Energiesysteme oder Wärmetechnische Anlagen; in dieser Studienrichtung waren 1996 12 Absolventen zu verzeichnen. 10 Studierende wurden im Studiengang Maschinenbau in der Studienrichtung Gas-technik ausgebildet, hier legten 7 Studierende 1996 ihr Examen ab. Im Studiengang Verfahrenstechnik ist die Studienrichtung Energieverfahrenstechnik vorgesehen, die 1996 13 Studierende belegten. 2 Studierende legten 1996 ihr Examen in dieser Studienrichtung ab. Im 1996 neu eingerichteten Studiengang Umwelt-Engineering ist das Vertiefungsgebiet Energiesysteme und Wärmeschutz vorgesehen, in welchem sich 1998 erstmals Studierende spezialisieren können.

Von 1994 bis 1996 wurden an der Technischen Universität sieben Dissertationen abgeschlossen, die sich energiewissenschaftlichen Themen widmeten. Die För-

derung des wissenschaftlichen Nachwuchses in der Energieforschung erfolgt außerdem im Rahmen der beiden einschlägigen Graduiertenkollegs.

Hinsichtlich der Situation des wissenschaftlichen Nachwuchses weisen die Energieforschung betreibenden Institute der Hochschule überwiegend auf die rückläufigen Studentenzahlen in den naturwissenschaftlich-technischen Fachgebieten hin, die langfristig zu einem Mangel an qualifiziertem Personal im Energiebereich in Wissenschaft und Industrie führen werden. Die Berufsaussichten ihrer Absolventen werden von den einzelnen Instituten positiv beurteilt; ein energiewissenschaftliches Studium in Freiberg eröffne gute Chancen auf dem gesamtdeutschen Arbeitsmarkt.

3. Weitere Entwicklung

Die Entwicklungsplanung der Technischen Universität Bergakademie Freiberg sieht auf dem Gebiet der Energieforschung eine weitere Verstärkung der Zusammenarbeit mit der regionalen Industrie, der interdisziplinären Zusammenarbeit der Institute der Hochschule sowie eine Stärkung der ökologischen Ausrichtung der Fragestellungen vor. Bei der Weiterentwicklung des energiebezogenen Lehrangebots sollen die Stärkung der fachübergreifenden Kompetenzen der Studierenden sowie stärker ökologisch orientierte Lehrinhalte im Vordergrund stehen. Daneben wird eine größere Internationalität von Ausbildung und Abschlüssen angestrebt.

B. Stellungnahme

Seine Empfehlung zur Umwandlung der Bergakademie Freiberg in eine Technische Universität aus dem Jahr 1992 verband der Wissenschaftsrat mit dem Hinweis, der Konsolidierung und gezielten Modernisierung bestehender Arbeitsschwerpunkte den Vorrang vor einer Erweiterung des Fächerspektrums zu geben.⁴⁶ Die Hochschule hat diese Empfehlung aufgegriffen und ihre traditionellen Kernbereiche Bo-

⁴⁶ Wissenschaftsrat: Empfehlungen zur künftigen Struktur der Hochschullandschaft in den neuen Ländern und im Ostteil von

den schätze und Gastechnik konsequent zu energierelevanten Forschungsschwerpunkten auf den Gebieten Brennstofftechnik, Gastechnik, Hochtemperaturanwendungen und Photovoltaik fortentwickelt. Für die aktiven Bemühungen der Hochschule um Schärfung ihres Lehr- und Forschungsprofils spricht auch die Tatsache, daß die Energieforschung überwiegend von in den letzten fünf Jahren neu berufenen Wissenschaftlern getragen wird und in enger Abstimmung und Kooperation der verschiedenen Fachbereiche und Institute erfolgt. Für die Forschungsarbeiten steht moderne und effiziente, zum Teil selbst entwickelte Versuchs- und Meßtechnik zur Verfügung.

Die Forschungen sind überwiegend auf hohem wissenschaftlichen Niveau. Besonders positiv hervorzuheben ist die Konzentration der Energieforschung der Hochschule auf konkrete, praxisrelevante Fragestellungen, die in enger Zusammenarbeit mit der Industrie bearbeitet werden.

Der Wissenschaftsrat empfiehlt der Hochschule, sich auf die weitere Stärkung ihrer Kompetenzen auf den genannten Gebieten der Energieforschung zu konzentrieren. Eine Schwerpunkterweiterung oder -verlagerung zu Lasten bestehender Kompetenzbereiche sollte nicht ohne vorherige gründliche Prüfung des Forschungsbedarfs und der Marktrelevanz erfolgen. Dies gilt z.B. für den Bereich regenerativer Energien, in dem sich die Hochschule weiterhin auf die photovoltaische Materialforschung konzentrieren sollte. Diese Empfehlung sollte auch bei der Umwidmung von Lehrstühlen beachtet werden.

Die Hochschule sollte ihre Aktivitäten zur Unterstützung des Transfers von Forschungsergebnissen in die praktische Anwendung verstärken und ihre Kooperationen mit Industrieunternehmen in der Region intensivieren. In strukturschwachen Regionen wie dem Freiburger Raum kommt jedoch insbesondere auch Ausgründungen große Bedeutung zu, die das innovative Potential zukunftsorientierter Industriezweige stärken und gleichzeitig den Absolventen der Hochschule qualifizierte Arbeitsplätze bieten. Hier böte sich u.a. das Gebiet der Prozeßanalytik für Halbleiterprodukte an, auf dem die Hochschule bedeutende Ergebnisse erzielt hat.

Die Hochschule sollte sich außerdem darum bemühen, ihre bestehenden Kontakte zu Wissenschaftlern im mittel- und osteuropäischen Ausland aufrechtzuerhalten und möglichst weiter auszubauen.

I.9. Technische Universität Hamburg-Harburg

A. Ausgangslage

1. Organisation und Ausstattung

1.1. Organisation

Die Forschungsaktivitäten der Technischen Universität Hamburg-Harburg sind in interdisziplinär zusammengesetzten Forschungsschwerpunkten organisiert, denen verschiedene wissenschaftliche Arbeitsbereiche zugeordnet sind. Die energie-wissenschaftlichen Arbeiten der Arbeitsbereiche Wärmekraftanlagen und Schiffsmaschinen, Verfahrenstechnik I, Technische Thermodynamik, Prozeß- und Anlagentechnik, Apparatebau sowie Elektrische Energiesysteme und Automation sind seit 1989 im Forschungsschwerpunkt "Verfahrenstechnik und Energieanlagen" gebündelt. Energieforschung wird außerdem von den Arbeitsbereichen Regelungstechnik, Theoretische Elektrotechnik, Hochfrequenztechnik und Flugzeug-Systemtechnik des Forschungsschwerpunktes "Systemtechnik" betrieben. Daneben befassen sich der Arbeitsbereich Strömungsmechanik, der dem Forschungsschwerpunkt "Bau- und Meerestechnik" zugeordnet ist, und der Arbeitsbereich Halbleitertechnologie des Forschungsschwerpunktes "Informations- und Kommunikationstechnik" mit Fragestellungen der Energieforschung.

Der Großteil der genannten Arbeitsbereiche ist darüber hinaus in den 1986 eingerichteten und bis zum Jahr 1999 zur Förderung bewilligten Sonderforschungsbereich "Prozeßnahe Meßtechnik und systemdynamische Modellbildung für mehrphasige Systeme" eingebunden, der sich mit der Entwicklung von Meßtechniken und Berechnungsverfahren für die Energietechnik befaßt.

Zur projektspezifischen Verstärkung ihrer Personalausstattung können sich die einzelnen Arbeitsbereiche um Stellen für wissenschaftliches Personal bewerben, die den jeweiligen Forschungsschwerpunkten zentral zugeordnet sind. Schwerpunktübergreifend bietet die Hochschule verschiedene technische Dienste zur Unter-

stützung von Forschung und Lehre sowie über ein zur Vermarktung von Forschungsergebnissen gegründetes Tochterunternehmen Beratungs- und andere Serviceleistungen bei der Einwerbung von Drittmitteln, der Durchführung von Kooperationsprojekten und der Verwertung wissenschaftlicher Ergebnisse an.

1.2. Haushalt und Personal

Ergänzend zu den Mitteln aus der Grundausstattung haben die genannten Arbeitsbereiche im Jahr 1996 für Arbeiten in der Energieforschung rund 8 Mio. DM Drittmittel eingeworben, vornehmlich von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (3,3 Mio. DM), der Industrie (2,5 Mio. DM) und vom Bund (1,2 Mio. DM). Nach Personenjahren waren im Jahr 1996 97 Wissenschaftler in der Energieforschung tätig (Forschungsschwerpunkt Verfahrenstechnik und Energieanlagen: 44,5 Personenjahre), 60 davon wurden über Drittmittel finanziert.

1.3. Infrastruktur und Serviceeinrichtungen

Das Blockheizkraftwerk der Hochschule steht sämtlichen Arbeitsbereichen zur Durchführung von Messungen und Experimenten zur Verfügung. Die einzelnen Arbeitsbereiche verfügen über eine fachspezifische Ausstattung mit Laboratorien, Versuchsanlagen, Technikumsanlagen, Prüfständen sowie Meß- und Analysesystemen, die hochschulintern auch von anderen Arbeitsbereichen genutzt werden. Sie werden außerdem zum überwiegenden Teil im Rahmen von Kooperationsprojekten auch extern genutzt.

2. Wissenschaftliches Profil

2.1. Energiewissenschaftliche Tätigkeitsschwerpunkte

Die Arbeiten der Technischen Universität Hamburg-Harburg lassen sich überwiegend fünf Schwerpunkten zuordnen:

- Verbrennung problematischer Stoffe in Energieanlagen

Mit Fragen des Einsatzes unkonventioneller Brennstoffe in Verbrennungsmotoren und der Verbrennung oder Mitverbrennung von Rest- und Abfallstoffen, Biomassen und Klärschlämmen in Wirbelschichten und Drehrohren befassen sich vornehmlich die Arbeitsbereiche Verfahrenstechnik I sowie Wärmekraftanlagen und Schiffsmaschinen. Zu diesem Schwerpunkt zählen auch Arbeiten zur thermischen Behandlung kontaminierter Böden in Verbrennungsanlagen.

- Großmotoren für Schiffsantriebe und Blockheizkraftwerke

Die Verbesserung von Einspritzung, Gemischbildung und Verbrennung mit dem Ziel der Senkung von Schadstoffemissionen steht im Mittelpunkt der experimentellen Untersuchungen an Großmotoren im Arbeitsbereich Wärmekraftanlagen und Schiffsmaschinen. Mit der Stromerzeugung und -verteilung in Inselnetzen u. a. auf Schiffen befaßt sich der Arbeitsbereich Elektrische Energiesysteme und Automation.

- Meßtechnik für Energieanlagen

Neue Meßprinzipien und Sensoren für energietechnische Anwendungen werden in bereichsübergreifender Zusammenarbeit im Rahmen des Sonderforschungsbereichs "Prozeßnahe Meßtechnik und systemdynamische Modellbildung für mehrphasige Systeme" entwickelt. Eines der Anwendungsbeispiele ist dabei die Wirbelschichtfeuerung mit Schwerpunkt auf der Verbrennung von Kohle und Biomassen. Im Bereich der Flüssigkeits-Feststoff-Gas-Systeme wird exemplarisch ein Biogasreaktor untersucht, in dem organisch hochbelastete Industrieabwässer vergärt werden.

- Modellbildung und Simulation von Energieanlagen

Neben den im Sonderforschungsbereich integrierten Arbeitsbereichen befaßt sich der Arbeitsbereich Technische Thermodynamik mit der dynamischen Simulation

energietechnischer Systeme, der Berechnung und dem Betrieb von Wärmeaustauschern, der Strömungssimulation und Fragen der Emissionsmeßtechnik. Arbeiten zu verfahrenstechnischen Prozessen und Anlagen und dem Entwurf von Regelungsstrategien werden in den Arbeitsbereichen Prozeß- und Anlagentechnik sowie Regelungstechnik durchgeführt.

- Photovoltaik

Im Arbeitsbereich Halbleitertechnologie werden Forschungen zur Entwicklung von Dünnschicht-Solarzellen betrieben. Angestrebt ist die Entwicklung von Solarzellen mit hohen Wirkungsgraden und großer Langzeitstabilität auf der Basis schneller Abscheide- und Rekristallisationsverfahren von Halbleitermaterialien auf Fremdsubstraten.

2.2. Wichtige Forschungsergebnisse

Im Bereich der Verbrennung wurden u.a. verschiedene Modelle für Wirbelschichtfeuerungen ausgearbeitet und betriebssichere Gasverteilerdüsen für Wirbelschichtfeuerungen entwickelt. Forschungsergebnisse wurden auch im Bereich der Großmotoren für Schiffsantriebe und Blockheizkraftwerke hinsichtlich der Einspritzung von Schweröl und bei der Verbrennung von Wasserstoff erzielt. Neben dem Aufbau eines Biogasturmreaktors gelang im Bereich der Meßtechnik für Energieanlagen die Entwicklung verschiedener Meß- und Monitoring-Systeme sowie eines faseroptischen Partikelsensors, der in einem kommerziellen Heizkraftwerk erfolgreich getestet wurde. Auf dem Gebiet der Modellbildung und Simulation von Energieanlagen konnten verschiedene Verfahren und Programme zur Simulation und Optimierung zentraler und dezentraler Energieanlagen und zur energieoptimalen Führung verfahrenstechnischer Prozesse vorgestellt werden. Auf dem Gebiet der Photovoltaik wurden Beiträge zur Entwicklung von Prozessen und Verfahren zur Herstellung von Halbleitern auf Fremdsubstraten geleistet.

2.3. Veröffentlichungen und Patente

In den Jahren 1994 bis 1996 veröffentlichten Mitarbeiter der verschiedenen in der Energieforschung tätigen Arbeitsbereiche insgesamt mehr als 200 Arbeiten, von denen 88 in begutachteten Zeitschriften und 84 als begutachtete Konferenzberichte erschienen. Im selben Zeitraum wurden insgesamt vier Patente angemeldet, von denen bis 1998 drei erteilt wurden.

2.4. Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Beteiligungen an internationalen Forschungsprojekten

Besonders ausgeprägt ist die hochschulinterne Kooperation der verschiedenen Arbeitsbereiche auf dem Gebiet der Meßtechniken und Berechnungsverfahren für die Energietechnik im Rahmen des Sonderforschungsbereichs. Die externen Kooperationspartner der einzelnen Arbeitsbereiche umfassen Hochschulen und öffentlich geförderte außeruniversitäre Einrichtungen, Energieversorgungsunternehmen und andere Industrieunternehmen im In- und Ausland. Der Technologietransfer erfolgt dabei neben der gemeinsamen Bearbeitung von Forschungsprojekten u.a. auch über den Personaltransfer. Verschiedene Ergebnisse der Arbeiten des Sonderforschungsbereichs werden von ehemaligen Mitgliedern in vier neu gegründeten Unternehmen in die Praxis umgesetzt.

2.5. Lehrtätigkeit und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses

Die Ausbildung im Energiebereich erfolgt an der Technischen Universität Hamburg-Harburg zum einen im grundständigen Studiengang Verfahrenstechnik, in dem die Vertiefungsrichtung Energieverfahrenstechnik angeboten wird. Zum anderen können im grundständigen Studiengang Maschinenbau die Studienschwerpunkte Schiffsmaschinenbau und Energieanlagen gewählt werden. Im Wintersemester 1996/97 schlossen jeweils 10 Studierende ihr Studium in der Vertiefungsrichtung Energieverfahrenstechnik und im Studienschwerpunkt Schiffsmaschinenbau sowie ca. 20 Studierende im Studienschwerpunkt Energieanlagen ab.

In den Jahren 1994 bis 1996 wurden insgesamt mehr als 300 Studien- und Diplomarbeiten zu energiewissenschaftlichen Themen angefertigt. Im gleichen Zeitraum wurden 36 Promotions- und ein Habilitationsverfahren im Bereich der Energieforschung abgeschlossen.

Die Berufsaussichten ihrer Diplomanden und Promovenden beurteilen die Arbeitsbereiche durchweg positiv. Die Arbeitsmarktsituation habe sich gegenüber den Vorjahren deutlich entspannt. Insbesondere promovierte Ingenieure mit interdisziplinären Kompetenzen und systemtechnischer Ausrichtung seien zunehmend von Industrieunternehmen gefragt. Nachteilig für die universitäre wissenschaftliche Forschung wirke sich die schlechtere Position der Hochschulen im Wettbewerb mit Industrieunternehmen um qualifizierte Mitarbeiter aus.

3. Weitere Entwicklung

Energieforschung bildet im Rahmen des Forschungsschwerpunktes "Verfahrenstechnik und Energieanlagen" einen der Schwerpunkte der Technischen Universität Hamburg-Harburg, der nach Angaben der Hochschule künftig im Zuge von Neuberufungen um den Arbeitsbereich "Energietechnik" ergänzt werden soll. Neubesetzungen stehen auch für Professuren in den Arbeitsbereichen Technische Thermodynamik, Wärmekraftanlagen und Schiffsmaschinen sowie Elektrische Energiesysteme und Automation an, wodurch sich Akzentverschiebungen in den Forschungsschwerpunkten ergeben werden. In Vorbereitung befindet sich ein Sonderforschungsbereich, der sich mit der Entwicklung neuer Simulationsmethoden für komplexe technische Systeme am Beispiel energietechnischer Anlagen befassen will.

Eine Ausweitung des Studienangebotes im Bereich der Energietechnik wird mit dem Aufbau einer Studienrichtung "Allgemeine Energietechnik" im Rahmen des grundständigen modularisierten Studiengangs "Allgemeine Ingenieurwissenschaften" angestrebt. Im Gegensatz zur Vertiefungsrichtung Energieverfahrenstechnik im grundständigen Studiengang Verfahrenstechnik und der Studienrichtung Thermische Energieanlagen und Schiffsmaschinen im grundständigen Studiengang

Maschinenbau, in denen die Schwerpunkte auf maschinenbaulichen Aspekten der Energietechnik liegen, sollen in der neuen Studienrichtung systemtechnische Aspekte im Vordergrund stehen. Vorgesehen ist eine modulare Organisation der grundständigen Studiengänge Maschinenbau, allgemeine Ingenieurwissenschaften und Verfahrenstechnik, die nach erfolgreich abgelegtem Vordiplom die Möglichkeit zum Wechsel zwischen den Studien- und Vertiefungsrichtungen Thermische Energieanlagen und Schiffsmaschinen, Allgemeine Energietechnik und Energieverfahrenstechnik bietet.

B. Stellungnahme

Energieforschung zählt zu den institutionalisierten Forschungsschwerpunkten der Technischen Universität Hamburg-Harburg und wird auf hohem wissenschaftlichen Niveau bei ausgeprägter inhaltlicher Konsistenz betrieben. Die Matrixstruktur der Forschungsorganisation überwindet mit hochschulinternen projektorientierten Kooperationen und der Konzentration auf Kompetenzbereiche herkömmliche Institutsgrenzen. Sie ist dadurch maßgebend für eine zielgerechte, effektive Forschungsplanung und -durchführung sowie die rasche Umsetzung der Forschungsergebnisse. Durch die Möglichkeit zur Umbildung von Forschungsschwerpunkten trägt sie außerdem entscheidend zur Flexibilität und Aktualität der Arbeiten bei. Dies führt auch dazu, daß die mit der Energieforschung befaßten Arbeitsbereiche inhaltlich gut abgegrenzt sind; zu begrüßen ist die geplante Einrichtung eines neuen Arbeitsbereichs "Energietechnik" zur Ergänzung der vorhandenen Kompetenzen.

Die Arbeiten zur Einspritzung, Gemischbildung und Verbrennung in Großdieselmotoren sind von großer wirtschaftlicher Bedeutung und erfreuen sich hoher Wertschätzung von seiten der Industrie. Auf dem Gebiet der Dünnschichttechnologien für Solarzellen wird an der TU Hamburg-Harburg ein neuer, vielversprechender Ansatz mit kompetenten Methoden verfolgt, zu dessen erfolgreicher Weiterentwicklung jedoch eine stärkere bundesweite Vernetzung mit einschlägig arbeitenden Wissenschaftlern unabdingbar ist. Im Sonderforschungsbereich "Prozeßnahe Meß-

technik und systemdynamische Modellbildung für mehrphasige Systeme" werden originäre, gut fundierte Arbeiten geleistet. Dafür stehen moderne Versuchsanlagen zur Verfügung, deren Nutzung sinnvoll und praxisnah durch Tests an großtechnischen Anlagen in Kooperation mit der Industrie ergänzt wird. Hervorzuheben ist die rege Beteiligung der Mitarbeiter des Sonderforschungsbereichs an der praktischen Umsetzung der Forschungsergebnisse, die teils mittels Unternehmensgründungen oder im Zusammenwirken mit Industrie- oder Energieversorgungsunternehmen erfolgt.

Beispielhaft sind die Aktivitäten der Hochschule zur Unterstützung des Wissenstransfers in die Praxis. Die von der Hochschule für die Verwertung wissenschaftlicher Ergebnisse gegründete Tochtergesellschaft arbeitet wirtschaftlich; wichtig für ihren Erfolg ist die hohe Akzeptanz ihrer Dienstleistungen bei den Wissenschaftlern der Hochschule, zu der auch eine sinnvolle Regelung des Mittelrückflusses beiträgt.

Im Hinblick auf die energiewissenschaftliche Ausbildung beschreitet die Hochschule neue Wege mit der begrüßenswerten Modularisierung der Studiengänge, die neben einer stärkeren Orientierung des Ausbildungsprofils an den Anforderungen der Industrie zu einer Erhöhung der Kompatibilität mit ausländischen Ausbildungsgängen beitragen soll. Hinzuweisen ist jedoch darauf, daß für die notwendige Steigerung der Internationalität der deutschen Ausbildung und Forschung in der Energietechnik eine Integration internationaler Aspekte in das gesamte Spektrum der Studiengänge wichtig und die Schaffung paralleler Studienangebote speziell für ausländische Studierende nur übergangsweise sinnvoll ist.

I.10. Universität Hannover

A. Ausgangslage

1. Organisation und Ausstattung

1.1. Organisation

Ausgewiesene Schwerpunkte in der Energieforschung bestehen an der Universität Hannover in den beiden Fachbereichen Elektrotechnik und Informationstechnik sowie Maschinenbau unter Beteiligung von elf Instituten. Daneben beschäftigen sich die Fachbereiche Gartenbau, Bauingenieur- und Vermessungswesen, Rechtswissenschaften und Architektur mit energiewissenschaftlichen Fragestellungen.

Die Arbeit der Fachbereiche wird durch die Forschungs- und Technologiekontaktstelle "uni transfer" insbesondere im Rahmen des Technologietransfers unterstützt. Übergreifende Strukturen und Organisationsformen in Form von Sonderforschungsbereichen oder Graduiertenkollegs bestehen im Bereich der Energieforschung an der Universität Hannover nicht. Die fachübergreifende Zusammenarbeit erfolgt nach Aussage der Hochschulleitung jeweils themenbezogen. Mit dem Fernwärme-Forschungsinstitut und dem Institut für Solarforschung in Hameln (An-Institute) gibt es enge Kooperationen im Bereich der Energieforschung.

1.2. Haushalt und Personal

Ergänzend zu den Mitteln aus der Grundausrüstung wurden für Projekte in der Energieforschung im Jahr 1996 rund 5,6 Mio. DM Drittmittel eingeworben, davon etwa die Hälfte (2,9 Mio. DM) von der Industrie und 1,7 Mio. DM (rund 30 %) vom Bund, ferner von der AiF und der DFG je etwa 0,3 Mio. DM sowie von der EU und sonstigen Institutionen je rund 0,2 Mio. DM.

Nach Personenjahren waren im Jahr 1996 87 Wissenschaftler in der Energieforschung tätig, davon wurden 45 Stellen über Drittmittel finanziert.

1.3. Infrastruktur und Serviceeinrichtungen

Zu den für die Energieforschung genutzten Infrastruktureinrichtungen der Universität Hannover zählen Anlagen zum induktiven Erwärmen und Schmelzen, Meßeinrichtungen zur Erfassung von Temperaturen (z.B. Infrarotkamera), Wärmeströmen, Energien und Schmelzenströmungen, Kalorimeter, Soleprüf- und Kühlmöbelmeßstand, Schraubenverdichter, eine Druckluftversorgungsanlage mit entsprechenden Großmotoren sowie Motoren-Prüfstände für Personen- und Nutzfahrzeugmotoren und Testeinrichtungen für Axialverdichter und Abgasturbolader. Diese Einrichtungen werden überwiegend intern genutzt. Vom Institut für Kältetechnik und Angewandte Wärmetechnik (FB Maschinenbau) werden darüber hinaus Infrastruktureinrichtungen wirtschaftsnaher Institute in Anspruch genommen.

2. Wissenschaftliches Profil

2.1. Energiewissenschaftliche Tätigkeitsschwerpunkte

Die energiewissenschaftlichen Arbeiten im Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik erstrecken sich von der Energiewandlung bis zur Energieübertragung. Schwerpunktmäßig werden die elektromagnetische Verträglichkeit von energietechnischen Anlagen und Themen im Bereich der elektrothermische Verfahrenstechnik behandelt. Hervorzuheben ist ferner die Isolierstoff-Forschung insbesondere für Isolierflüssigkeiten.

Im Fachbereich Maschinenbau liegt der Schwerpunkt der Arbeiten in der Erforschung technisch-wirtschaftlicher Grundlagen einer künftigen Energieversorgung mit möglichst geringer CO₂-Emission unter Beachtung sozialer und ökologischer Verträglichkeit. Darüber hinaus werden im Rahmen der Verbrennungsforschung Maßnahmen zur Schadstoffminderung und Abgasnachbehandlung bei der motorischen Verbrennung untersucht. Ferner werden die instationäre Strömung im Axialverdichter untersucht, die numerische Strömungssimulation in Turbomaschinen durchgeführt sowie dreidimensionale Auslegungsmethoden für Beschau felung mehrstufiger Axialverdichter erforscht. Es werden auch Diagnoseverfahren zur

Fehlerfrüherkennung in nuklear und fossil betriebenen Kraftwerken sowie Verfahren zur Materialcharakterisierung in Kraftwerken zur Bestimmung und Erhöhung der Lebensdauer der Komponenten entwickelt.

Die energiewissenschaftlichen Arbeiten im Fachbereich Gartenbau beziehen sich u.a. auf Energieeinsparung in Gewächshäusern und auf Auslegungs- und Optimierungsmodelle für den Energieeinsatz im Gartenbau sowie auf Regelstrategien für die Gewächshausklimatisierung. Im Fachbereich Bauingenieur- und Vermessungswesen werden in den Bereichen Fernwärmeanlagen, Transportprozesse im geklüfteten Gestein in Zusammenhang mit der Endlagerung von kerntechnischen Abfallprodukten und Nutzung geothermischer Energie sowie bei der anaeroben Abwasserreinigung Untersuchungen durchgeführt. Im Fachbereich Rechtswissenschaften werden neben allgemeinen Fragen des Energierechts und der Energierechtsreform auch Fragen der Stromeinspeisung und des Konzessionsabgaberechts in der Elektrizitätswirtschaft behandelt. Das Institut für Bautechnik und Entwerfen des Fachbereichs Architektur befaßt sich mit dem wirtschaftlichen Betrieb von Gebäuden.

2.2. Wichtige Forschungsergebnisse

Als wichtige Forschungsergebnisse innerhalb der Energieforschung sind beispielhaft anzugeben:

- Entwicklung von Computerprogrammen zur Netzberechnung,
- Entwicklung eines hochempfindlichen Teilentladungsmeßsystems für die Überwachung und Diagnose von Hochspannungskabeln,
- Einblick in die instabile Strömung (Rotating Stall) bei Axialverdichtern,
- Hochauflösende Turbulenzmessungen im Axialverdichter,
- Entwicklung leistungsfähiger 2D-Rechnerprogramme für vielstufige Turbinen und Verdichter,
- Entwicklung von phänomenologischen Modellen zur Simulation der dieselmotorischen Verbrennung,

- Entwicklung des Expertensystems HORTEX für die Planung und Auslegung von Energieversorgungsanlagen in Gewächshäusern.

2.3. Veröffentlichungen und Patente

In den Jahren 1994 bis 1996 haben Wissenschaftler der Energieforschung betreibenden Fachbereiche der Universität Hannover insgesamt 245 Arbeiten in begutachteten Zeitschriften, als Konferenzbeiträge oder in Form anderer Publikationen veröffentlicht. Im selben Zeitraum wurden elf Patente vom Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik angemeldet.

2.4. Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Beteiligung an internationalen Forschungsprojekten

Die Institute pflegen vielfältige Kooperationen mit der Industrie mit dem Ziel der unmittelbaren Umsetzung von Forschungsergebnissen in Anwendung und Produkte. Im Fachbereich Maschinenbau betrifft die Zusammenarbeit mit industriellen Partnern insbesondere die Hersteller von Pkw, Nutzfahrzeugen sowie Schiffsdieselmotoren und darüber hinaus Energieversorgungsunternehmen und Betriebsgesellschaften von Kraftwerken. Der Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik arbeitet mit Energieversorgungsunternehmen, Herstellern von Komponenten der Energieversorgung (z.B. Transformatoren, Kabel, Schalter) und Anwendern elektrothermischer Verfahren zusammen. Der Fachbereich Bauingenieur- und Vermessungswesen kooperiert mit mehreren industriellen Firmen und kommunalen Kläranlagen-Betreibern im Bereich Industrieabwässer. Hinzu kommen enge Beziehungen zu anderen Universitäten im In- und Ausland, wobei sich die Zusammenarbeit von persönlichen Kontakten bis zu Kooperationsverträgen erstreckt. Daneben wird in begrenztem Umfang auch mit anderen Forschungseinrichtungen zusammengearbeitet, wie mit dem Deutschen Windenergie-Institut in Wilhelmshaven, dem DLR in Göttingen, dem Institut für Solarenergieforschung in Hameln sowie dem Fernwärme-Forschungsinstitut, der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und dem Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung in Hannover. Die Institute beteiligen sich teilweise auch an größeren internationalen Projekten.

2.5. Lehrtätigkeit und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses

In den Fachbereichen Elektrotechnik und Informationstechnik, Maschinenbau und Bauingenieur- und Vermessungswesen werden Vorlesungen im Bereich Energietechnik im Rahmen des Grund- und Hauptstudiums angeboten. Im Jahr 1996 betrug im Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik der Anteil der Diplomarbeiten am Studienschwerpunkt Energietechnik 25 %, im Fachbereich Maschinenbau belegten 29 % der Absolventen den Studienschwerpunkt Energie- und Verfahrenstechnik. Ferner wurden 34 % der insgesamt 258 Diplomarbeiten im Studienschwerpunkt Energie- und Verfahrenstechnik angefertigt. Daneben gibt es Fortbildungsveranstaltungen im Energiewasserbau und die von dem Arbeitskreis Regenerative Energien jeweils im Wintersemester durchgeführte Vortragsreihe zum Thema Energie und Umwelt.

In den Jahren 1994 bis 1996 wurden an der Universität Hannover im Bereich der Energieforschung insgesamt rund 770 Diplom- und Studienarbeiten und 34 Dissertationen angefertigt.

Die Situation des wissenschaftlichen Nachwuchses wird überwiegend als problematisch angesehen. Als Gründe dafür werden insbesondere der starke Rückgang der Studierenden und die Reduzierung der Stellen zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses angeführt. Für den wissenschaftlichen Nachwuchs bestünden auf dem Gebiet der Energietechnik gute Berufsaussichten in der Industrie. Ferner verfügen nach Aussage des Fachbereichs Rechtswissenschaften dessen Absolventen im Bereich Energierecht über ausgezeichnete Berufsaussichten.

3. Weitere Entwicklung

In dem 1997 von der Universität Hannover aufgestellten Entwicklungsplan zur Weiterentwicklung der Fächer wird die Energieforschung als Schwerpunkt in Forschung und Lehre berücksichtigt. Die Fachbereiche passen derzeit ihre Struktur an die künftigen Anforderungen an Lehre und Forschung an. Ziel dabei sei die Zusammenführung von Instituten, wodurch benachbarte Arbeitsgebiete gebündelt und die

Anpassung der Fachbereiche an neue Entwicklungen flexibler gestaltet werden sollen. Schwerpunkte sollen im Fachbereich Maschinenbau die Mechatronik mit der Synthese von Erkenntnissen aus dem Maschinenbau, der Elektronik und der Informatik und im Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik die effiziente und elektromagnetisch verträgliche Energieerzeugung und -übertragung sein.

B. Stellungnahme

Energieforschung wird an der traditionell technisch ausgerichteten Universität Hannover schwerpunktmäßig in den beiden Fachbereichen Maschinenbau sowie Elektrotechnik und Informationstechnik mit überwiegend guter Qualität betrieben.

Im Fachbereich Maschinenbau sind die Arbeiten zu Verbrennungsvorgängen hervorzuheben, z.B. zu thermofluidmechanischen Transport- und chemischen Umwandlungsvorgängen in Verbrennungsmotoren und Gasturbinenkammern. Die am Institut für Kältetechnik und Angewandte Wärmetechnik verfolgten Arbeiten weisen ein breites Spektrum auf und werden mit großem Einsatz durchgeführt.

Der Bereich der Kerntechnik zeichnet sich durch eine relativ hohe Zahl von Absolventen aus (1996: 15). Nach Ansicht des Wissenschaftsrates sollten Studierende auch weiterhin ausreichende Möglichkeiten besitzen, ein Lehrangebot in der Kerntechnik zu nutzen und kerntechnische Fragestellungen zu verfolgen. Dieser Ausrichtung kommt angesichts des allgemeinen Abbaus kerntechnischer Kompetenzen in Deutschland eine wichtige Bedeutung zu. Die an der Universität Hannover vorgesehene Integration der Kerntechnik in die Kraftwerkstechnik und die Zusammenführung mit dem Institut für Strömungsmaschinen wird vor diesem Hintergrund nicht als sinnvoll erachtet, da dies mit einer erheblichen Reduzierung der Aktivitäten in der Kerntechnik verbunden ist. Der Hochschulleitung wird dringend empfohlen, diese Überlegungen zu überprüfen.

Im Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik ist das Institut für Elektrowärme hervorzuheben. Aufgrund der guten Arbeiten, die sich der Entwicklung und

Optimierung von elektrothermischen Verfahren in Hinblick auf steigende Produktivität und Umweltverträglichkeit bei sinkendem spezifischen Energiebedarf widmen, handelt sich um ein in Deutschland bemerkenswertes Institut. Insgesamt werden die Arbeiten in der Elektrotechnik mit überwiegend konventionellen Methoden verfolgt; eine größere Kreativität bei der Wahl der Forschungsgebiete und ihrer Bearbeitung sowie eine Öffnung zu interdisziplinärer Zusammenarbeit wäre wünschenswert.

Auffallend ist, daß die an der Energieforschung beteiligten Institute über zahlreiche Kooperationen zu externen Einrichtungen verfügen, untereinander jedoch in geringerem Maße zusammenarbeiten. Künftig sollte verstärkt instituts- und auch fachbereichsübergreifend zusammengearbeitet werden, um das gesamte Potential der Universität Hannover im Bereich der Energieforschung nutzen zu können. So wird im Bereich der Verfahrens- und Kraftwerkstechnik empfohlen, mit Instituten des Fachbereichs Elektrotechnik zusammenzuarbeiten. In dem sich durch die Zusammenführung von Instituten ergebenden Prozeß der Umstrukturierung sollte vor allem die Chance genutzt werden, thematische Schwerpunkte in der Energieforschung zu bilden.

Es wird ferner empfohlen, die in der letzten Zeit reduzierten Aktivitäten im Bereich der Windenergie, künftig wieder zu erweitern und einen Schwerpunkt Windenergie aufzubauen, der bisher an keiner deutschen Hochschule besteht. Zu begrüßen wäre, wenn der Aufbau unter Einbeziehung der Ressourcen des Landes und in Abstimmung mit dem Potential in Norddeutschland (Deutsches Windinstitut in Wilhelmshaven, Universität Oldenburg, TU Braunschweig) erfolgen würde.

In Niedersachsen findet sich mit den Technischen Universitäten Braunschweig und Clausthal sowie der Universität Hannover eine Konzentration von Hochschulen mit ausgeprägt ingenieurwissenschaftlicher Ausrichtung, die bedeutende Potentiale für eine komplementäre Schwerpunktsetzung birgt. Der Wissenschaftsrat empfiehlt nachdrücklich, dieses Potential für eine abgestimmte Schärfung der Forschungsprofile der genannten Hochschulen auch im Bereich der Energieforschung zu nutzen. Dies würde den einzelnen Hochschulen größere Spielräume für den Ausbau der Kompetenzfelder in der Energieforschung eröffnen.

I.11. Universität Hohenheim

A. Ausgangslage

1. Organisation und Ausstattung

1.1. Organisation

An der Universität Hohenheim wird Energieforschung vor allem in der Fakultät für allgemeine und angewandte Naturwissenschaften am Institut für Lebensmitteltechnologie, am Institut für Pflanzenbau und Grünland der Fakultät Agrarwissenschaften I, am Institut für Agrartechnik, am Institut für Agrartechnik in den Tropen und Subtropen der Fakultät Agrarwissenschaften II sowie an der Landesanstalt für landwirtschaftliches Maschinen- und Bauwesen betrieben.

Institutionalisierte institutsübergreifende Kooperationsformen in der Energieforschung bestehen an der Hochschule nicht. Über die Fachbereiche und einzelnen Institute hinausgehende Personal, Sachmittel- oder Raumausstattung kann von Hochschuleseite im Rahmen ihrer Förderung von Forschungsschwerpunkten zur Verfügung gestellt werden; ebenso besteht die Möglichkeit zur Nutzung eines Verfügungsgebäudes.

1.2. Haushalt und Personal

Zusätzlich zu den Mitteln aus der Grundausrüstung wurden im Jahr 1996 für die Energieforschung insgesamt 1,4 Mio. DM an Drittmitteln, vornehmlich von Bund, Land und der Industrie, eingeworben. In den Jahren 1997 bis 2000 wird die Europäische Union weitere 0,5 Mio. DM für Forschungen auf dem Gebiet der Biomasseerzeugung zur Verfügung stellen. Nach Personenjahren waren im Jahr 1996 16,5 Wissenschaftler in der Energieforschung tätig, 12 davon waren über Drittmittel finanziert.

1.3. Infrastruktur und Serviceeinrichtungen

Zu den für die Energieforschung genutzten Infrastruktureinrichtungen der Universität Hohenheim zählen Wind- und Wasserkanäle am Institut für Lebensmitteltechnologie, solartechnische Versuchsanlagen sowohl am Standort Hohenheim als auch in Entwicklungsländern zur praxisnahen Erprobung der Entwicklungen des Instituts für Agrartechnik in den Tropen und Subtropen sowie ein Biogaslabor und ein Motorprüfstand in der Landesanstalt für landwirtschaftliches Maschinen- und Bauwesen. Diese Einrichtungen werden überwiegend hochschulintern und institutsübergreifend genutzt. Das Institut für Pflanzenbau und Grünland nutzt die Versuchsgüter der Universität Hohenheim für seine Forschungen zur Produktion von Biomasse; die produzierte Biomasse wird auch anderen Hochschulen für weitere Untersuchungen zur Verfügung gestellt.

2. Wissenschaftliches Profil

2.1. Energiewissenschaftliche Tätigkeitsschwerpunkte

Schwerpunkte der an der Universität Hohenheim betriebenen Energieforschung liegen auf dem Gebiet der Erzeugung und energetischen Nutzung nachwachsender Biomasse, der Energieerzeugung aus biologischen Abfällen, tierischen Exkrementen und Abwässern sowie der Minimierung des Energieeinsatzes im Lebensmittelbereich unter Einschluß von Nacherntetechnologien.

Das Institut für Lebensmitteltechnologie befaßt sich mit der Entwicklung von Anwendungstechniken mit dem Ziel einer Verringerung des Energieverbrauches im Lebensmittelbereich sowie der Erzeugung von Alkohol aus landwirtschaftlichen Abfällen. Anwendungs- und produktorientierte Forschung auf dem Gebiet solarthermischer Nacherntetechnologien stehen im Mittelpunkt der energiewissenschaftlichen Forschungsaktivitäten des Instituts für Agrartechnik in den Tropen und Subtropen. Das Institut für Pflanzenbau und Grünland befaßt sich mit Untersuchungen zum Anbau verschiedener Energiepflanzen unter unterschiedlichen Standortbedingungen im Hinblick auf das jeweilige Biomasseertragspotential sowie die

Brennstoffqualität. An der Landesanstalt für landwirtschaftliches Maschinen- und Bauwesen werden Forschungen zur Gewinnung und motorischen Verwendung von Kraftstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen sowie zur Erzeugung von Biogas durchgeführt.

2.2. Wichtige Forschungsergebnisse

Bedeutende Ergebnisse in der Energieforschung wurden nach Angaben der Institute im Bereich der Lebensmitteltechnologie unter anderem auf dem Gebiet der Aceton-, Butanol- und Ethanol-Fermentation, der Optimierung von Wärmeüberträgern und der Entwicklung neuer Verfahren zur Sichtbarmachung und Bestimmung örtlicher Wärme- und Stoffübertragung erzielt. Im Bereich der Nachernte-technologien wurden solarthermische Anlagen zur Lebensmitteltrocknung und -verarbeitung entwickelt und am Markt, vornehmlich in Entwicklungsländern, eingeführt. Im Bereich der Biomasse-Erzeugung wurden Beiträge zur Bestimmung des Energiepotentials verschiedener Energiepflanzen geleistet. An der Landesanstalt für landwirtschaftliches Maschinen- und Bauwesen wurde ein für den Betrieb mit nativem Rapsöl geeigneter Serienschlepper vorentwickelt. Außerdem gelang eine bedeutende Erhöhung der Energieausbeute von Biogasanlagen durch Ko-Fermentation.

2.3. Veröffentlichungen und Patente

Mitarbeiter der Universität Hohenheim veröffentlichten in den Jahren 1994 bis 1996 rund 150 Arbeiten zur Energieforschung in Zeitschriften, als Konferenzberichte und in anderen Publikationsformen. Im selben Zeitraum wurden zwei Patente angemeldet.

2.4. Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Beteiligungen an internationalen Forschungsprojekten

Neben der gemeinsamen Nutzung von Infrastruktureinrichtungen umfaßt die hochschulinterne Kooperation der Institute die gemeinsame Betreuung von Diplom-,

Studien- und Praktikumsarbeiten, die sich auch auf Institute der Universität Stuttgart erstreckt. Daneben bestehen zahlreiche Kontakte zu weiteren Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen im In- und Ausland. Außerdem beteiligen sich Hohenheimer Institute an internationalen Forschungsprojekten, die mit Bundesmitteln sowie mit Mitteln der Europäischen Gemeinschaft gefördert werden, auf den Gebieten Biomasseerzeugung, Biodiesel und Energietechniken für Entwicklungsländer. Zahlreiche Kooperationen mit Industrieunternehmen unterstützen die Umsetzung der Forschungsergebnisse in die Praxis. Außerdem sind mehrere Ausgründungen von Mitarbeitern der Hochschule erfolgt.

2.5. Lehrtätigkeit und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses

Ein grundständiger energiewissenschaftlicher Studiengang oder entsprechende Vertiefungsangebote bestehen an der Universität Hohenheim nicht; energiewissenschaftliche Lehrveranstaltungen werden jedoch in den Agrar- und Lebensmittelwissenschaften, teils durch Vergabe von Lehraufträgen, angeboten.

In den Jahren 1994 bis 1996 wurden an der Universität Hohenheim insgesamt 62 Studien- oder Diplomarbeiten angefertigt, die sich mit energiewissenschaftlichen Fragestellungen auseinandersetzten. Im selben Zeitraum wurden 16 einschlägige Dissertationen angefertigt.

Nach Ansicht der Institute verschaffe ein starker Anwendungsbezug in Forschung und Lehre Absolventen gute Anstellungschancen außerhalb der Hochschulen. Die Nachwuchssituation für die energiewissenschaftliche Hochschulforschung stelle sich allerdings aufgrund fehlender Mittel zur Finanzierung der Qualifizierungsphase schwierig dar. Dies sei auch auf fehlende politische Weichenstellungen für erneuerbare Energien zurückzuführen.

3. Weitere Entwicklung

An der Universität Hohenheim ist die Einführung eines Studiengangs Umweltwissenschaften geplant, im Rahmen dessen auch Fragen der Energieforschung aufgegriffen werden sollen.

B. Stellungnahme

Energieforschung wird an der Universität Hohenheim in den Bereichen der Erzeugung und energetischen Nutzung von Biomasse, der Entwicklung von Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energien in ländlichen Regionen der Tropen und Subtropen sowie der Verbesserung der Energienutzung bei der Nahrungsmittelverarbeitung betrieben. Die Arbeiten sind von überwiegend guter Qualität und fügen sich gut in das Profil der Hochschule ein, die als ehemalige Land-wirtschaftliche Hochschule ihren Schwerpunkt in Forschung und Lehre auf natur- und agrarwissenschaftliche sowie ökonomische Fragen der Nahrungsmittelversorgung legt.

Unter energiewirtschaftlichen Aspekten von großer Relevanz sind die Hohenheimer lebensmitteltechnologischen Arbeiten zur Optimierung von Apparaten und Anlagen. Auf dem Gebiet der industriellen Lebensmittelverarbeitung bestehen große, in weiten Teilen ungenutzte Potentiale zur Energieeinsparung, deren Realisierung bedeutende Beiträge zur rationellen Energieverwendung erwarten lässt. Einen ausgeprägten Anwendungsbezug haben auch die sehr guten Arbeiten der Universität Hohenheim zur Erschließung erneuerbarer Energiequellen für verschiedene Nutzungen in Entwicklungsländern, die einen wichtigen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung in Ländern der Dritten Welt leisten.

Im wesentlichen überzeugend sind die umfassenden Forschungsaktivitäten der Hochschule auf dem Gebiet der energetischen Nutzung von Biomasse, die sich von der Erzeugung und Aufbereitung nachwachsender Biomasse bis zur biotechnologischen Umsetzung von Abfallprodukten aus Landwirtschaft und Lebensmittelverarbeitung erstrecken. Hervorzuheben ist die enge Kooperation mit der Universität Stuttgart, wo Forschungsarbeiten zur Verbrennung von Biomasse, zur Emissionsminderung und zur systemaren Analyse von Biomassenutzungsketten durchgeführt werden. Am Standort Stuttgart/Hohenheim wird auf diese Weise ein breites Spektrum relevanter Forschungsfelder der Nutzung von Biomassen zur Energieerzeugung abgedeckt. Der Wissenschaftsrat sieht Forschungsbedarf insbesondere auf dem Gebiet der Nutzung biologischer Abfallstoffe für die Energieumwandlung und empfiehlt den Universitäten Hohenheim und Stuttgart daher, ihre bestehende Zu-

sammenarbeit weiter zu verstärken, wozu auch die gemeinsame Konzeption und Durchführung langfristiger Forschungsprojekte beitragen könnte.

I.12. Universität Karlsruhe

A. Ausgangslage

1. Organisation und Ausstattung

1.1. Organisation

Die Universität Karlsruhe ist von den Naturwissenschaften und den Technikwissenschaften geprägt und in einer Region mit traditionell starker energietechnischer Ausrichtung beheimatet. Die Mehrzahl der 12 Fakultäten setzt sich mit Fragen der Energietechnik auseinander. Schwerpunkte der anwendungsorientierten Energieforschung liegen im Maschinenbau, im Chemieingenieurwesen, im Bauingenieurwesen, in der Architektur und in der Elektrotechnik, während die Grundlagen vorwiegend von der Physik und der Chemie bearbeitet werden.

Fakultäts- und disziplinenübergreifende Strukturen bilden unter anderem die Sonderforschungsbereiche 167 "Hochbelastete Brennräume - stationäre Gleichdruckverbrennung" und 195 "Lokalisierung von Elektronen in makroskopischen und mikroskopischen Systemen" sowie das Graduiertenkolleg "Energie- und Umwelttechnik". Es werden regelmäßig Seminare zu energiewissenschaftlichen Themen veranstaltet, oftmals auch in internationaler Kooperation. Die Energieforschung an der Universität Karlsruhe zeichnet sich durch eine intensive Zusammenarbeit mit industriellen Partnern aus, wobei ein hohes Drittmittelaufkommen aus nationalen und internationalen Quellen erzielt wird. Es besteht eine enge Zusammenarbeit mit dem Forschungszentrum Karlsruhe; Lehrstühle und Institutsleitungen sind zum Teil in Personalunion besetzt. Dies gilt vor allem für die kerntechnischen Institute, die Materialwissenschaft und die Meteorologie.

1.2. Haushalt und Personal

Ergänzend zu den Mitteln aus der Grundausrüstung haben die schwerpunktmäßig berücksichtigten Institute für Projekte in der Energieforschung im Jahr 1996 ca. 31,5

Mio. DM Drittmittel von der DFG (16,1 Mio. DM), der Industrie (5,0 Mio. DM), Bund (3,7 Mio. DM), Land (1,0 Mio. DM), EU (2,3 Mio. DM), der AiF (1,1 Mio. DM) und sonstigen Institutionen (2,3 Mio. DM) eingeworben. Darüber hinaus wurden im weiteren Umfeld der Energieforschung etwa 20 Mio. DM Drittmittel eingeworben.

Nach Personenjahren waren im Jahr 1996 232 Wissenschaftler in der Energieforschung tätig, davon wurden 136 über Drittmittel finanziert. Insgesamt arbeiteten im Jahr 1996 ca. 25 Institute und 35 Professoren an größeren Projekten der Energieforschung.

1.3. Infrastruktur und Serviceeinrichtungen

Im Rahmen der personellen Verflechtung mit dem Forschungszentrum Karlsruhe stehen der Universität Räumlichkeiten, Ausstattung und Infrastruktureinrichtungen des Zentrums für Forschungsarbeiten zur Verfügung. Innerhalb der Universität wurde vor kurzem das Forschungszentrum Umwelt errichtet, dessen Räume auf Antrag der Institute befristet für Projekte der Energie- und Umweltforschung vergeben werden. Die Infrastruktureinrichtungen der Institute (Werkstätten, Laboratorien und Rechnerausstattung) werden überwiegend intern sowie von Kooperationspartnern genutzt.

2. Wissenschaftliches Profil

2.1. Energiewissenschaftliche Tätigkeitsschwerpunkte

Die Arbeitsschwerpunkte der Energieforschung an der Universität Karlsruhe liegen in den Bereichen

Nutzung fossiler Energieträger

- Führung von Verbrennungsprozessen und Gestaltung von Kraftwerksanlagen
- Schonende Nutzung der Ressourcen
- Verminderung negativer Umwelteinflüsse

Erschließung regenerativer Energiequellen

- Photovoltaische und thermische Solaranlagen
- Wärmepumpenanlagen zur Nutzung der Umweltwärme aus Luft, Wasser, Boden und Baustrukturen
- Wasserkraftanlagen
- Geothermische Energie

Kernteknische Systeme und Reaktorsicherheit

Gebäudeausstattung

2.2. Wichtige Forschungsergebnisse

Als wichtige Forschungsergebnisse der Energieforschung in den einzelnen Bereichen sind beispielhaft anzuführen:

- Erstmalige wissenschaftliche Untersuchungen zur Bildung von Ablagerungen in Brennräumen
- Verbessertes Verständnis von Flüssigbrennstoffzerstäubung und -ausbreitung
- Hochpräzise Meßwerte der spezifischen Wärmekapazität und des Joule-Thomson-Koeffizienten von neuen Arbeitsstoffen der Energietechnik
- Verständnis der Staubabscheidung in Elektrofiltern zur Rauchgasreinigung
- Bau und Inbetriebnahme eines supraleitenden magnetischen Energiespeichers
- Beiträge zur Vorausberechnung der NO_x -Bildung in turbulenten Diffusionsflammen

Unter Mitwirkung des Sonderforschungsbereichs 167 wurden in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte bei der Entwicklung von Brennkammern für die Energieumwandlung fossiler Brennstoffe in technischen Verbrennungssystemen erzielt, vor allem im Hinblick auf erhöhten Wirkungsgrad, geringeren Brennstoffverbrauch, Schadstoffreduzierung und Verlängerung der Lebensdauer.

2.3. Veröffentlichungen und Patente

In den Jahren 1994 bis 1996 haben Mitarbeiter der in der Energiewissenschaft tätigen Institute der Universität Karlsruhe mehr als 600 Arbeiten veröffentlicht, hierzu zählen Veröffentlichungen in begutachteten Zeitschriften und Konferenzberichte, Monographien sowie weitere Publikationen.

In den vergangenen 20 Jahren wurden von einem Institut über 50 Patente in allen wichtigen Industriestaaten angemeldet. Die Universität Karlsruhe hat eine Patentverwertungsstelle eingerichtet, die landesweit Aufgaben der Patentverwendung übernimmt.

2.4. Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Beteiligung an internationalen Forschungsprojekten

Es bestehen langjährige Kooperationen der im Bereich Energieforschung tätigen Institute der Universität Karlsruhe untereinander, mit Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen im In- und Ausland sowie mit Partnern aus der Industrie. Neben der Zusammenarbeit in konkreten anwendungsorientierten Projekten, etwa im Rahmen von Programmen der EU und des BMBF, werden Kontakte auf informeller Basis gepflegt und Gastaufenthalte von ausländischen Wissenschaftlern und Studenten ermöglicht. Besonders intensiv gestaltet sich die Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Kerntechnik und Reaktorsicherheit der Universität Karlsruhe und dem Forschungszentrum Karlsruhe; sie erstreckt sich auch auf Großforschungszentren der Kerntechnik in anderen europäischen Ländern, den USA und Japan. Die überwiegende Zahl der Institute unterhält enge Kooperationsbeziehungen zu den für ihr Arbeitsgebiet einschlägigen Industrieunternehmen, bei denen durch Forschungsarbeit gewonnenes Know-how zur Lösung industrieller Probleme eingesetzt wird.

2.5. Lehrtätigkeit und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses

Da sich ein großer Teil der Fakultäten der Universität Karlsruhe mit Energietechnik befaßt, haben Studierende verschiedene Möglichkeiten, ihr Studium mit energietechnischen Inhalten auszufüllen. Die Zahl der Studierenden, die sich mit Fragen der Energieforschung auseinandersetzt, liegt bei etwa 1.000. Man verzeichnet etwa 200 Absolventen (Diplomanden) und 30 Promotionen pro Jahr.

Zur Situation des wissenschaftlichen Nachwuchses weist die Universität Karlsruhe darauf hin, daß es zunehmend schwieriger wird, geeignete Mitarbeiter für laufende Forschungsarbeiten zu gewinnen. Als Ursachen werden die zurückgehende Anzahl der Studierenden in den Ingenieurwissenschaften, besonders im Maschinenbau, genannt sowie veränderte Anforderungen der Unternehmen, die dazu führten, daß Studien- und Diplomarbeiten bevorzugt industrienah und im Ausland abgeleistet würden. Zudem verliere die zeitlich befristete wissenschaftliche Arbeit mit der Möglichkeit zur Promotion angesichts unsicherer wirtschaftlicher Perspektiven an Attraktivität. Diplomierten sowie promovierten Ingenieuren gelinge der Wechsel in die Industrie in der Regel ohne größere Probleme.

3. Weitere Entwicklung

Die Energieforschung ist zentraler Bestandteil der Struktur- und Entwicklungsplanungen der Universität Karlsruhe. Eine enge Anbindung besteht an die Umwelt- und die Materialforschung.

B. Stellungnahme

Die Energieforschung an der Universität Karlsruhe zeichnet sich durch ihre außergewöhnliche thematische Breite, eine Vielzahl leistungsstarker Arbeitsgruppen in den für die Energieforschung bedeutsamen Fachgebieten sowie eine konsequente Orientierung der Grundlagenforschung auf die Anforderungen der industriellen Praxis aus.

Energiewissenschaftliche Fragestellungen werden von der Mehrzahl der insgesamt 12 Fakultäten verfolgt. Durch ihre lange ingenieurwissenschaftliche Tradition, die konsequent weiterentwickelt wurde, verfügt die Universität über ein umfassendes energiewissenschaftliches Spektrum, das sich gegenwärtig auf die Nutzung fossiler Energieträger, insbesondere Verbrennungsprozesse und Kraftwerkstechnik, die Erschließung regenerativer Energiequellen, kerntechnische Systeme und Reaktorsicherheit bis hin zu Gebäudeausstattung und Wirtschaftlichkeitsanalysen erstreckt. Bemerkenswert sind die intensive Zusammenarbeit mit industriellen Partnern und vielfältige Kooperationen im Rahmen von Verbundprogrammen auf nationaler und europäischer Ebene, die sich in einem hohen Drittmittelaufkommen niederschlagen. Die außergewöhnlich hohe wissenschaftliche Leistungsfähigkeit der Universität Karlsruhe in den für die Energieforschung einschlägigen Bereichen dokumentiert auch der Umstand, daß sie nach einer Übersicht der Deutschen Forschungsgemeinschaft zu den Universitäten mit dem höchsten Aufkommen an DFG-Drittmitteln je Professur in den Ingenieurwissenschaften gehört.

Unter den Forschungsarbeiten von hohem und internationalen Niveau sind besonders die Aktivitäten in den Bereichen Verbrennungsforschung, Gasturbinenentwicklung, Antriebstechnik, Staubabscheidung, Wasserkraftanlagen, Geothermie sowie Kerntechnik und Reaktorsicherheit hervorzuheben.

Die verschiedenen energiewissenschaftlichen Grundlagenfächer sind breit ausgebaut und intensiv miteinander vernetzt. Eine enge interdisziplinäre Zusammenarbeit wird bei einem Großteil der Forschungsprojekte praktiziert.

In den einzelnen Instituten arbeiten eine Vielzahl leistungsstarker Arbeitsgruppen, wobei der wissenschaftliche Nachwuchs konsequent in innovative Forschungsprojekte eingebunden wird. Die fächerübergreifenden energiewissenschaftlichen Forschungsschwerpunkte und die besondere Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses finden ihren Ausdruck in zwei Sonderforschungsbereichen und einem Graduiertenkolleg. Die enge Zusammenarbeit zwischen Universität und Forschungszentrum Karlsruhe kommt in der Besetzung einiger Institutsleiterstellen in Personalunion sowie in gemeinsamen Projekten zum Ausdruck.

Das vorhandene wissenschaftliche Potential und die thematische Breite der Universität Karlsruhe legen die Einrichtung eines Studienschwerpunktes Energietechnik/Energiewissenschaft nahe. Entsprechende Initiativen der Fakultät für Maschinenbau sind aus Sicht des Wissenschaftsrates zu begrüßen. Darüber hinaus wäre es wünschenswert, wenn im Anschluß an den Ende 1998 auslaufenden SFB 167 "Hochbelastete Brennräume - Stationäre Gleichdruckverbrennung" eine geeignete neue Initiative treten würde.

I.13. Universität Magdeburg

A. Ausgangslage

1. Organisation und Ausstattung

1.1. Organisation

Energieforschung wird an der Universität Magdeburg in folgenden Instituten betrieben:

- Fakultät Elektrotechnik
 - o Institut für Elektroantriebstechnik
 - o Institut für Allgemeine Elektrotechnik und Leistungselektronik
- Fakultät für Verfahrens- und Systemtechnik
 - o Institut für Apparate- und Umwelttechnik
 - o Institut für Strömungstechnik und Thermodynamik
- Fakultät für Maschinenbau
 - o Institut für Maschinenmeßtechnik und Kolbenmaschinen
- Fakultät für Naturwissenschaften
 - o Chemisches Institut

Übergreifende Strukturen für die Energieforschung bestehen an der Universität Magdeburg nicht; entsprechend ist eine über die Fakultäten hinausgehende Personal-, Sachmittel- oder Raumausstattung im Bereich der Energieforschung nicht vorhanden. Verschiedene Arbeiten der Energieforschung sind indessen dem fakultätsübergreifenden Schwerpunkt "Umwelttechnik" zugeordnet, der im Jahre 1995 eingerichtet wurde. Nach Darstellung der Universität findet eine inhaltliche Abstimmung bei übergreifenden Themen der Energieforschung zwischen einzelnen Instituten statt.

1.2. Haushalt und Personal

Ergänzend zu den Mitteln aus der Grundausrüstung haben die Institute der Universität Magdeburg für Projekte in der Energieforschung ca. 3 Mio. DM an Drittmitteln im Jahre 1996 erhalten. Von der Deutschen Forschungsgemeinschaft wurden 900 TDM eingeworben, davon entfielen 800 TDM auf das Institut für Allgemeine Elektrotechnik und Leistungselektronik. 275 TDM der Gesamtdrittmittel wurden von Industrieunternehmen finanziert. Im selben Jahr waren nach Personenjahren 66 Wissenschaftler in der Energieforschung tätig, davon wurden 28 mit Drittmitteln finanziert.

1.3. Infrastruktur und Serviceeinrichtungen

Folgende Infrastruktureinrichtungen der Universität werden in der Energieforschung genutzt:

- Anlagen zur zirkulierenden und stationären Wirbelschichtfeuerung sowie eine im Aufbau befindliche Wirbelschichtvergasungsanlage
- Gasbrennerversuchsstand
- Solarthermieanlage (660 m²)
- Motorleistungsprüfstände und ein Rollenprüfstand
- Hochstromlabor mit 500 m² Nutzfläche (Fertigstellung 10/98)
- Transparentmotor zur Untersuchung der Gemischbildung und Verbrennung (Einsatz in Kürze)

Darüber hinaus bestehen Vereinbarungen einzelner Institute mit externen Einrichtungen zur wechselseitigen Nutzung ihrer Infrastruktureinrichtungen.

2. Wissenschaftliches Profil

2.1. Energiewissenschaftliche Tätigkeitsschwerpunkte

Forschungsschwerpunkte der Universität Magdeburg im Bereich der Energieforschung sind

in der Fakultät Elektrotechnik:

- technologische Nutzung der Elektrizität und Elektromagnetische Verträglichkeit (Analyse und Modellierung von Energiewandlungsprozessen),
- leistungselektronische Geräte und Anlagen für elektrothermische Verfahren (Leistungshalbleiter-Bauelemente, leistungselektronische Aktoren, elektrothermische Verfahren),
- Umwandlung von Windenergie in elektrische Energie durch Einsatz von Asynchrongeneratoren,
- Arbeitspunktoptimierung von solarenergiegespeisten Umrichterantrieben ohne Energiezwischenspeicher,

in der Fakultät für Verfahrens- und Systemtechnik:

- Verbrennung in der Wirbelschicht (Kohle, Biomasse, Abfälle)
- Entwicklung NO_x-armer Gasbrenner,
- probabilistische Sicherheitsuntersuchungen für Kernkraftwerke,
- Ermittlung des kumulativen Energieaufwandes für Abwasserrohre aus verschiedenen Werkstoffen,
- elektromagnetische Verträglichkeit als Sicherheitsproblem,

in der Fakultät für Maschinenbau:

- Verbesserung des Wirkungsgrades und Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs von Verbrennungsmotoren,

in der Fakultät für Naturwissenschaften:

- experimentelle und theoretische Untersuchungen zur Verbrennung (Gas- und Ölfammen; Kohle, Biomasse und Abfallstoffe).

2.2. Wichtige Forschungsergebnisse

Als wichtige Ergebnisse der Energieforschung in der Fakultät für Elektrotechnik werden dynamisch hochwertige Pulsstromquellen für die elektroerosive Materialbearbeitung, für das Lichtbogenschweißen und für physikalische Beschichtungstechnologien genannt. Der technologische Einsatz von elektrisch erzeugten Leistungsschallimpulsen für Aufgaben der Stofftrennung wurde nachgewiesen. Ein neues Hülsenschweißverfahren mit magnetisch bewegtem Lichtbogen wurde entwickelt.

In der Fakultät für Maschinenbau gelang der Nachweis der Möglichkeit der Heißgasreinigung im Temperaturbereich 800-1200 °C. Es wurden außerdem ein 4-Zonen-Strömungsmodell für zirkulierende Wirbelschichten aufgestellt und reaktionskinetische und verbrennungstechnische Kennwerte für Kohle-Biomasse-Gemische ermittelt. Ein mathematisches Modell erlaubt die Berechnung der Verbrennungskinetik von Restkokspartikeln. Der kumulative Energieaufwand zur Herstellung von Steinzeug und Beton wurde ermittelt. Durch direkte Benzineinspritzung gelang die Reduktion des spezifischen Kraftstoffverbrauchs in Teillast um bis zu 30 %.

In der Fakultät für Naturwissenschaft wurden gaspotentiometrische Analysen von Verbrennungsvorgängen durchgeführt.

2.3. Veröffentlichungen und Patente

Wissenschaftler der in der Energieforschung tätigen Institute der Universität Magdeburg haben in den Jahren 1994 bis 1996 65 Veröffentlichungen in begutachteten Zeitschriften, 42 Konferenzberichte sowie 10 weitere Veröffentlichungen publiziert. Es wurden acht Patente angemeldet.

2.4. Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Beteiligung an internationalen Forschungsprojekten

Sämtliche Energieforschung betreibenden Institute der Universität Magdeburg verfügen entsprechend ihren Arbeitsgebieten über inländische und zum Teil ausländische Kooperationspartner in Wirtschaft und Wissenschaft. Der Schwerpunkt liegt auf der Kooperation mit externen Partnern, in einzelnen Fällen kooperieren Wissenschaftler der Institute untereinander. Sie sind außerdem teilweise in größere internationale Forschungsprojekte eingebunden.

2.5. Lehrtätigkeit und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses

An der Universität Magdeburg wird seit dem Studienjahr 1996/97 ein Studiengang "Energietechnik" angeboten, der von den Fakultäten für Maschinenbau und für Elektrotechnik gemeinsam getragen wird. Für die davorliegenden Jahrgänge besteht eine Vertiefungsrichtung im Maschinenbau und eine Studienrichtung im Studiengang Elektrotechnik. Die Universität beabsichtigt, die Anzahl der Bewerber für den Studiengang "Energietechnik" durch gezielte Studieninformation zu erhöhen (im Studienjahr 1996/97 haben sich fünf Studierende eingeschrieben). In der vertiefenden Ausbildung zur Energietechnik an der Fakultät Maschinenbau waren im Jahr 1996 36 Studierende immatrikuliert. 14 Studierende haben im selben Jahr diesen Ausbildungsgang abgeschlossen.

Nach Angaben der Institute wurden in den Jahren 1994 bis 1996 insgesamt 176 Studien- und Diplomarbeiten in der Energieforschung abgeschlossen. Im selben Zeitraum wurden vier Dissertationen und eine Habilitationsschrift angefertigt.

Als besorgniserregend gilt allgemein die geringe Anzahl von Studienbewerbern, die auch das Potential an geeignetem wissenschaftlichen Nachwuchs mindere. Die beruflichen Perspektiven für Absolventen auf dem deutschen Arbeitsmarkt gelten als gut.

3. Weitere Entwicklung

Nach Darstellung der Universität wird Energieforschung in absehbarer Zeit kein eigenständiger Schwerpunkt sein. Die Energieforschung sei insofern Bestandteil der Struktur- und Entwicklungsplanung der Universität Magdeburg, als diese die Fakultäten für Maschinenbau und Elektrotechnik einbeziehe. Zur Weiterentwicklung von Forschung, Lehre und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses wurden an der Fakultät für Maschinenbau eine C3-Professur "Energieversorgungssysteme" und an der Fakultät Elektrotechnik eine C3-Professur "Elektrische Netze und alternative Elektroenergiequellen" eingerichtet und vor kurzem ausgeschrieben.

B. Stellungnahme

Die Universität Magdeburg hat nach einer Integration unterschiedlicher Hochschulen sowie nach erheblichen Umstrukturierungen im Jahre 1993 ihre heutige Struktur erhalten.⁴⁷ Dabei wurde in der Energieforschung kein eigener Schwerpunkt gebildet.

Unter den energiebezogenen Arbeiten sind die Untersuchungen zur technischen Verbrennung einschließlich der gaspotentiometrischen Analysen mit ihren interessanten Anwendungsmöglichkeiten als sehr gut und die Entwicklung von NO_x-emissionsminimierten Heizkesselfeuerungen als gut einzustufen. Die Mehrzahl der anderen Projekte verfolgt Fragestellungen, die an anderen Forschungsstandorten zum Teil mit hohem Aufwand bearbeitet werden. In einzelnen Fällen sind die zentralen wissenschaftlichen Probleme auch schon gelöst.

Die Etablierung des in Deutschland ersten Studienganges "Energietechnik" als gemeinsames Angebot der Fakultäten Maschinenbau und Elektrotechnik ist ein interessanter Ansatz, Studieninhalte aus den beiden ingenieurwissenschaftlichen

⁴⁷ Vgl. Wissenschaftsrat: Empfehlungen zur Struktur der Naturwissenschaften an den Universitäten in Sachsen-Anhalt, Drs. 3334/98 vom

Fakultäten zu integrieren. Allerdings wäre einem solchen Studiengang zu wünschen, daß eine Schwerpunktsetzung und Profilbildung in der Energieforschung in größerer Breite vorhanden ist.

I.14. Technische Universität München

A. Ausgangslage

1. Organisation und Ausstattung

1.1. Organisation

Übergreifende Strukturen der Energieforschung an der Technischen Universität München sind

- Kooperationsbeziehungen zwischen den Fakultäten für Maschinenwesen, für Landwirtschaft und Gartenbau und für Brauwesen, Lebensmitteltechnologie und Milchwissenschaft im Bereich biogener Brennstoffe,
- Bayerisches Zentrum für angewandte Energieforschung (ZAE Bayern),
- Sonderforschungsbereich 365: Umweltfreundliche Antriebstechnik für Fahrzeuge (Sprecherhochschule).

Eine über die Fakultäten hinausgehende Personal-, Sachmittel- oder Raumausstattung im Bereich der Energieforschung existiert nicht. Energieforschung wird in folgenden Fakultäten betrieben:

- Bauingenieur- und Vermessungswesen,
- Maschinenwesen,
- Elektrotechnik und Informationstechnik,
- Landwirtschaft und Gartenbau,
- Brauwesen, Lebensmitteltechnologie und Milchwissenschaften.

1.2. Haushalt und Personal

Zusätzlich zu den Mitteln aus der Grundausstattung haben die berücksichtigten Einrichtungen der Technischen Universität für Aktivitäten im Bereich Energieforschung im Jahre 1996 ca. 12 Mio. DM Drittmittel eingeworben. Mit ca. 3 % der an der

Technischen Universität vorhandenen Planstellen wurden etwa 8 % der gesamten Drittmittel der Hochschule eingeworben. 1996 waren rd. 100 Wissenschaftler (einschließlich Doktoranden) im Bereich der Energieforschung tätig, etwa die Hälfte dieser Wissenschaftler wurde über Drittmittel finanziert.

1.3. Infrastruktur und Serviceeinrichtungen

Die Technische Universität verfügt über eine Reihe von Infrastruktureinrichtungen für die Energieforschung. Hierzu zählen z.B.:

- das Kleinwasserkraftwerk zur Untersuchung der Turbinenanströmung der Versuchsanstalt für Wasserbau in Oberrach, Garching, München, Bayern,
- das Verbundforschungsgebäude für Verbrennungsforschung der Fakultät für Maschinenwesen in Garching, das über umfangreiche medien- und meßtechnische Einrichtungen sowie über 17 Versuchsstände für Energieforschung verfügt,
- die Versuchsanlagen, die an das Heizkraftwerk im Stammgelände (zwei Hochdruckdampfzerzeuger mit einer Gegendruckdampfturbine) angebunden sind und vom Lehrstuhl für Thermische Kraftanlagen betrieben werden,
- das Cheng-Cycle-Heizkraftwerk auf dem Forschungsgelände in Garching, das vom Lehrstuhl für Thermische Kraftanlagen wissenschaftlich betreut und z.B. für die Entwicklung und Erprobung eines Lastmanagementsystems auf Basis neuronaler Netze genutzt wird,
- der Meßgerätepark des Lehrstuhls für Energiewirtschaft und Kraftwerkstechnik, der energetischen Analysen von Anlagen und Betrieben dient, sowie die ebenfalls an diesem Lehrstuhl angesiedelten Prüfstände für Traktionsbatterien,
- der Meßgerätepark und die kryotechnischen Betriebseinrichtungen des Lehrstuhls für Elektrische Maschinen und Geräte, die Untersuchungen zum Betrieb von Hochleistungsenergiespeichern und von supraleitenden Magneten oder Doppelschichtkondensatoren dienen,
- zwei Feuerungsprüfstände für biomassebefeuerte Zentralheizungskessel bzw. Einzelfeuerstätten (Bestimmung konventioneller Luftschadstoffe sowie Dioxin/Furan- und PAK-Probenahme).

Die Infrastruktureinrichtungen werden, wie z.B. das Verbundforschungsgebäude für Verbrennungsforschung in Garching, kooperativ durch die verschiedenen Einrichtungen der Energieforschung an der Technischen Universität oder durch Fremdnutzer in Anspruch genommen. Die Nutzung durch Externe findet aufgrund der hohen internen Auslastung nur in geringem Umfang statt.

2. Wissenschaftliches Profil

2.1. Energiewissenschaftliche Tätigkeitsschwerpunkte

Forschungsschwerpunkte der Technischen Universität im Bereich der Energieforschung sind

- Wasserstoffmotoren und Wasserstoffverbrennung,
- Verbrennungsablauf und Verminderung von Schadstoffemissionen bei Pkw-Dieselmotoren,
- Stabilisierung von Überschall-Flammen in Triebwerken,
- NO_x-Minimierung bei Mikrobrennern,
- umweltfreundliche Gebäudeklimatisierung,
- Notkühlung von Kernreaktoren-Druckbehältern nach teilweisem Kernschmelzen,
- Thermo- und Fluidodynamik in solaren Verdampferrohren,
- Nutzung biogener Brennstoffe (Bereitstellung, Aufbereitung und energetische Nutzung biogener Festbrennstoffe, Biogaserzeugung und -nutzung; pflanzliche Öle als Kraftstoffe),
- Wandlung, Transport und Speicherung elektrischer Energie,
- Wasserkraftanlagen,
- Kraft-Wärme-Kopplung,
- kombinierte Gas-Dampf-Turbinen-Prozesse,
- Verbrennungsablauf und Minderung von Schadstoffemissionen,
- Solarenergie,
- Hybridfahrzeuge.

2.2. Wichtige Forschungsergebnisse

An der Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen wurde der Nachweis erbracht, daß sich in viele bestehende Stauanlagen nachträglich eine wirtschaftlich arbeitende Wasserkraftanlage einbauen läßt. In der Kavitationsforschung wurden eine Maßstabsbeziehung für die modellmäßige Behandlung von Kavitationerscheinungen an hydraulischen Anlagen und Maschinen sowie eine Belüftungseinrichtung für Wasserturbinen zur Vermeidung von Kavitationsschäden und zur Steigerung des Wirkungsgrades entwickelt.

Im Bereich des Maschinenwesens wurden z.B. neue Erkenntnisse zur Steuerung und Regelung des Einblasvorgangs von Wasserstoff in einen Dieselmotor, zur Stabilisierung von Wasserstoff-Überschallflammen, zur Verbesserung des Verbrennungsablaufs im Hinblick auf die Verringerung der Rußbildung in Pkw-Dieselmotoren sowie zu den thermofluidodynamischen Vorgänge in Glasschmelzwannen erzielt. Darüber hinaus gelang auch die weitere Optimierung der Geometrien von Platten- und Rohrbündel-Wärmeübertragern. Am Lehrstuhl für Verbrennungskraftmaschinen und Kraftfahrzeuge wurden im Rahmen von Gesamtprozeßanalysen Programme zur Optimierung des gesamten Fahrzeugsystems entwickelt. Ferner wurde auch ein Programm zur Berechnung des Betriebsverhaltens von Ottomotoren im dynamischen Betrieb und während des Warmlaufs konzipiert. Die Möglichkeiten der Kraft-Wärme-Kopplung mit Biomasse wurden neben anderen Themen am Lehrstuhl für Thermische Kraftanlagen untersucht.

Im Bereich Elektrotechnik und Informationstechnik wurden Auslegungsregeln für die SF₆-Isolation von Kompaktanlagen bis zu höchsten Betriebsspannungen sowie Methoden und Verfahren zur Wahrung der elektromagnetischen Verträglichkeit beim Blitzeinschlag entwickelt. Am Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Kraftwerkstechnik wurde der kumulierte Energieaufwand für Pkw, Gebäude, Kraftwerke berechnet. Ferner wurden umfangreiche Prozeßkettenanalysen von Wasserstoffsystemen und Messungen in Elektro- und Hybridfahrzeugen durchgeführt. Am Lehrstuhl für Elektrische Maschinen und Geräte wird derzeit ein supraleitender magnetischer Energiespeicher in Betrieb genommen, an dem die Energiespeiche-

rung mit magnetischen Hochleistungsenergiespeichern untersucht wird. So wurde für verlustarme Energiespeicher ein neuartiges Schutzsystem für supraleitende Magnetspulen auf der Basis tiefgekühlter Halbleiter entwickelt. Darüber hinaus werden an diesem Lehrstuhl andersartige Kurzzeitspeicher wie Doppelschichtkondensatoren im Hinblick auf die Anwendung in Pkw's untersucht. Am Lehrstuhl für elektrische Antriebstechnik wird im Rahmen des fakultätsübergreifenden Projekts "Umweltfreundliche Antriebstechnik für Fahrzeuge" (SFB 365) die dynamische Gesamtoptimierung des Fahrzeugs durchgeführt, um die Ziele "vom EVU-Versorgungsnetz unabhängiger Betrieb des Fahrzeugs, Kraftstoff-Ersparnis und in Ballungszentren emissionsfreier Betrieb" zu erreichen.

In der Fakultät Brauwesen, Lebensmitteltechnologie und Milchwissenschaft wurden neben vielen Maßnahmen zum rationellen Energieeinsatz in der Brau- und Lebensmittelindustrie z.B. Hochleistungsbiogasreaktoren für lignozellulosehaltige Abfälle der Lebensmittelindustrie entwickelt. Außerdem wurde die Lachgasbildung bei Verbrennungs- und Abgasreinigungsanlagen (zuletzt am Dreibegekkatalysator) detailliert untersucht. Zum Einsatz von Pflanzenölen und deren Methylestern in Dieselmotoren wurden Praxiserprobungen und Abgasmessungen durchgeführt. In der Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau wurden die Einflußgrößen bei der PCDD/F- und PAK-Bildung bei der Verbrennung biogener Festbrennstoffe bestimmt und Regelungstechniken für Holzfeuerungen im häuslichen Bereich entwickelt. Darüber hinaus gelang die Standardisierung der Eigenschaften von naturbelassenem Pflanzenöl als Motorenkraftstoff.

2.3. Veröffentlichungen und Patente

Zwischen 1994 und 1996 wurden durch Mitarbeiter der in der Energieforschung tätigen Einrichtungen der Technischen Universität 385 Arbeiten veröffentlicht. Hierzu zählen Veröffentlichungen in begutachteten Zeitschriften und Konferenzberichten sowie weitere Publikationen. Zehn Patente wurden zur Anmeldung gebracht, darunter ein Verfahren zur Verwertung von Trebern als biologischer Isolier- und Dämmstoff.

2.4. Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Beteiligung an internationalen Forschungsprojekten

Alle Einrichtungen der Energieforschung an der Technischen Universität kooperieren entweder untereinander oder mit auswärtigen Partnern. Besonders intensiv gestaltet sich die Zusammenarbeit z.B. in der Fakultät für Maschinenwesen, wo in Partnerschaft mit der Industrie der Einsatz laseroptischer Methoden zur Optimierung von Wasserstoff-Brennkammern oder die komplementäre Erweiterung der Testmatrix zur experimentellen Untersuchung von Kühlungsmechanismen während eines hypothetischen schweren Störfalls in einem Kernkraftwerk erforscht werden. Im Bereich der Energiewirtschaft und Kraftwerkstechnik schließt die Zusammenarbeit auch z.B. die Kooperation mit Partnern wie dem Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung in Karlsruhe, dem Ökoinstitut Darmstadt, dem Bayerischen Zentrum für Angewandte Energiewirtschaft sowie dem IFEU-Institut in Heidelberg ein.

2.5. Lehrtätigkeit und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses

An der Technischen Universität München wird eine große Anzahl an Vorlesungen angeboten, die sich mit Themen aus dem Bereich der Energieforschung befassen. Darüber hinaus gibt es zwei Studienrichtungen und einen Aufbaustudiengang, die speziell Fragen der Energietechnik gewidmet sind.

Im Studiengang Maschinenwesen wird die Studienrichtung Energie- und Kraftwerkstechnik angeboten, in der 1996 40 Studierende eingeschrieben waren und zwölf Studierende ein Examen abgelegt haben. Im Studiengang Elektrotechnik und Informationstechnik wird die Studienrichtung Energietechnik angeboten, die 1996 217 Studierende und 65 Absolventen zählte. Das Aufbaustudium Kerntechnik, das gemeinsam von den Fakultäten für Maschinenwesen und für Elektrotechnik und Informationstechnik durchgeführt wird, zählte 1996 lediglich neun Studierende. Ein Student hat 1996 das Aufbaustudium neu aufgenommen. Von 1994 bis 1996 wurden an der Technischen Universität 35 energietechnisch orientierte Dissertationen abgeschlossen.

3. Weitere Entwicklung

Der Strukturplan der Technischen Universität München vom September 1995 nennt insbesondere die Energieverfahrenstechnik und -systemtechnik sowie neue Prinzipien bei der Wandlung, Verteilung und Speicherung elektrischer Energie als wesentliche Forschungsschwerpunkte aus dem Bereich der Energieforschung. Die Strukturplanung für die Fakultät für Maschinenwesen sieht die Einrichtung eines Lehrstuhls für Energie- und Umweltverfahrenstechnik an der Fakultät für Maschinenwesen vor.

B. Stellungnahme

Die Energieforschung an der Technischen Universität München zeichnet sich überwiegend durch einen sehr hohen Leistungsstand aus. Die Energieforschung stellt seit jeher einen Schwerpunkt der Forschung an der Technischen Universität München dar. Nicht zuletzt der Umfang der eingeworbenen Drittmittel, belegt dies. Ein Kennzeichen der Energieforschung an der Technischen Universität ist, daß die Einrichtungen, die auf diesem Gebiet tätig sind, auf mehrere Standorte und Fakultäten verteilt sind.

Besonders hervorzuheben ist dabei die Forschung am Institut für Energietechnik in der Fakultät für Maschinenwesen. Die Forschung in diesem Institut befindet sich auf hohem internationalem Niveau. Hierzu tragen auch die vielfältigen Kooperationsbeziehungen bei, die das Institut mit in- und ausländischen Forschungseinrichtungen, aber auch mit Wirtschaftsunternehmen verbinden. Hervorzuheben ist ferner, daß neben experimentellen Arbeiten auch zahlreiche Aktivitäten im Bereich von Simulation und Modellierung durchgeführt werden. Durch den Neubau der Fakultät für Maschinenwesen in Garching sind besonders günstige Voraussetzungen für die weitere Entwicklung der Forschung geschaffen worden, insbesondere die meßtechnische Ausrüstung des Instituts ist hervorragend. Die mit der Verlagerung des Maschinenbaus nach Garching gewachsene Nähe zu Physik und Chemie sollte

nach Ansicht des Wissenschaftsrates verstärkt zum Ausbau der Kooperationsbeziehungen mit den Fakultäten für Physik und Chemie genutzt werden.

Das in der Münchener Innenstadt gelegene Institut für Energietechnik der Fakultät für Elektrotechnik leistet ebenfalls wichtige Beiträge zur Energieforschung an der Technischen Universität. Die Mehrzahl der Lehrstühle an diesem Institut ist in die Arbeit des Sonderforschungsbereiches 365, Umweltfreundliche Antriebstechnik für Fahrzeuge eingebunden, dessen Programm mit der Frage der Reduzierung von Primärenergieverbrauch, Schadstoffemission und Kraftstoffverbrauch ein Thema von großer ökologischer Bedeutung aufgreift. Die am Institut durchgeführten Arbeiten zur Hochleistungsübertragung stellen auch im internationalen Maßstab einen bedeutenden Beitrag zur ingenieurwissenschaftlichen Grundlagenforschung dar.

Die Energieforschung am Standort Weihenstephan zeichnet sich durch hohe Praxisorientierung aus. Das Prüflabor für Kleinfeuerungsanlagen sowie z.B. die in Analogie zu natürlichen Bioreaktoren entwickelte Hochleistungsbiogasanlage stellen originelle, praxisnahe Beiträge zur Energieforschung dar. Auch die Entwicklung einer Anlage zur Aufbereitung von pflanzlichen Altölen und Fetten zu Kraftstoff ist in diesem Zusammenhang zu nennen.

Der Wissenschaftsrat spricht sich dafür aus, die Kooperationsbeziehungen der Energieforschung an den verschiedenen Bereichen und Standorten der Technischen Universität zu stärken. Dies trifft insbesondere für die Vernetzung der Aktivitäten in Weihenstephan mit denen an den anderen Standorten zu. In diesem Zusammenhang sollte die Möglichkeit der Errichtung eines Institutsverbunds für Energieforschung geprüft werden. Ein solcher Verbund, dem fakultäts- und standortübergreifend alle Lehrstühle angehören sollten, die im Bereich der Energieforschung nennenswerte Aktivitäten aufweisen, könnte zu einer Verstärkung der Kooperationsbeziehungen und über mittlere Frist zur Herausbildung eines neuen Schwerpunktes im Profil der Technischen Universität München beitragen. Aufgrund der größeren kritischen Masse könnten darüber hinaus Vorteile bei der Einwerbung

von Drittmitteln erzielt werden. Die Einbindung der Energieforschung in die etablierten disziplinären Strukturen und Praxisbezüge sollte jedoch nicht gefährdet werden.

I.15. Universität Stuttgart

A. Ausgangslage

1. Organisation und Ausstattung

1.1. Organisation

Mit energiewissenschaftlichen Fragestellungen befassen sich an der Universität Stuttgart vor allem folgende Institute:

Fakultät Energietechnik

- Institut für Kernenergetik und Energiesysteme (IKE)
- Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER)
- Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen (IVD)
- Staatliche Materialprüfungsanstalt (MPA)
- Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW)
- Institut für Thermische Strömungsmaschinen und Maschinenlaboratorium (ITSM)
- Institut für Strömungsmechanik und Hydraulische Strömungsmaschinen (IHS)
- Institut für Technische Verbrennung (ITV)
- Institut für Verbrennungsmotoren und Kraftfahrwesen (IVK)

Fakultät Elektrotechnik

- Institut für Physikalische Elektronik
- Institut für Plasmaforschung
- Institut für Energieübertragung und Hochspannungstechnik
- Institut für Elektrische Maschinen und Antriebe (IEMA)

Komplementär zu den am Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart, betriebenen Forschungen im Energiebereich befaßt sich daneben der Lehrstuhl Konstruktive Bauphysik in der Fakultät Bauingenieur- und Vermessungswesen mit energiewissenschaftlichen Fragestellungen.

Zu den übergreifenden Strukturen der Energieforschung an der Universität Stuttgart zählt der Sonderforschungsbereich 270 "Energieträger Wasserstoff", in welchem sich Wissenschaftler verschiedener Institute und Fakultäten der Universität Stuttgart in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt und dem Max-Planck-Institut für Metallforschung mit Fragen der Herstellung von Wasserstoff und seiner Speicherung befassen. Im Rahmen des Graduiertenkollegs "Parallele und Verteilte Systeme - Modellierung, Simulation, Entwurf", das seit 1993 von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert wird, werden Forschungen zur Modellbildung und Simulation energietechnischer Anlagen und Systeme betrieben.

Verschiedene Infrastruktureinrichtungen der Hochschule stehen der instituts- und fakultätsübergreifenden Nutzung zu Forschungs- und Lehrzwecken im Energiebereich zur Verfügung. Dazu zählt ein Heizkraftwerk, das den Universitätsstandort Vaihingen seit 1959 mit Fernwärme und elektrischer Energie und seit 1975 mit Kühlwasser versorgt. Weitere institutsübergreifend in der Energieforschung genutzte Infrastruktureinrichtungen sind eine Prüfstelle für Heizung, Lüftung, Klimatechnik und ein Forschungs- und Testzentrum für Solaranlagen.

1.2. Haushalt und Personal

Ergänzend zu den Mitteln aus der Grundausstattung haben die Institute der Universität Stuttgart für Projekte in der Energieforschung im Jahr 1996 ca. 62,0 Mio. DM an Drittmitteln eingeworben. Der überwiegende Teil (52,0 Mio. DM) entfiel auf die Institute der Fakultät Energietechnik, wobei hohe Anteile von Industrie (23,3 Mio. DM) und Bund (16,4 Mio. DM) stammten.

Nach Personenjahren waren im Jahr 1996 468 Wissenschaftler in der Energieforschung tätig (Fakultät Energietechnik: 387,5 Personenjahre), 363 (Fakultät Energietechnik: 308) davon wurden über Drittmittel finanziert.

1.3. Infrastruktur und Serviceeinrichtungen

Das Heizkraftwerk der Universität, das vom Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen betreut wird, dient sowohl der campusweiten Energieversorgung als auch unmittelbar Zwecken der Energieforschung verschiedener Institute der Hochschule. Daneben stehen an den Fakultäten für Energietechnik und für Elektrotechnik eine Reihe von Infrastruktureinrichtungen zur Verfügung, die überwiegend, teils aufgrund vertraglicher Vereinbarung, auch für industrielle Versuchszwecke genutzt werden können.

An der Fakultät Energietechnik verfügt das Institut für Kernenergetik und Energiesysteme unter anderem über ein Wasserstofflabor, verschiedene Versuchs- und Teststände für thermophysikalische Untersuchungen, Schweißanlagen für den Bereich Hochtemperaturtechnik und eine 3-MVA-Hochstromanlage für Versuche mit sehr hohen Dauerleistungen. Zu den für die Energieforschung genutzten Infrastruktureinrichtungen zählen außerdem eine Modell-Niederdruck-Dampfturbine für wissenschaftliche und praxisnahe Versuchsarbeiten am Institut für Thermische Strömungsmaschinen und Maschinenlaboratorium, verschiedene Versuchsstände am Institut für Strömungsmechanik und hydraulische Strömungsmaschinen, ein turbulenter Erdgasbrenner und verschiedene Meßanlagen am Institut für Technische Verbrennung sowie eine Windkanalanlage und diverse stationäre und instationäre Prüfstände am Institut für Verbrennungsmotoren und Kraftfahrwesen.

Die staatliche Materialprüfungsanstalt verfügt über Einrichtungen zur Prüfung von Bauteilen und Komponenten in Originalgröße unter komplexen Belastungen, die auch der Verifizierung neu entwickelter Bewertungsverfahren dienen.

Der institutsübergreifenden internen und der externen Nutzung stehen an der Fakultät Elektrotechnik drei Niedertemperatur- und Mikrowellen-Plasma-Reaktoren sowie eine Hochstromanlage am Institut für Plasmaforschung zur Verfügung. An diesem Institut befindet sich außerdem eine Test-Übertragungsleitung für eine Mikrowellen-Plasma-Heizung im Aufbau, die zur Vorbereitung des Stuttgarter Beitrages zum Stellaratorexperiment in Greifswald dienen soll. Das Institut für Physi-

kalische Elektronik führt Material- und Oberflächenanalysen auch für institutsfremde Auftraggeber durch. Eine Hochspannungshalle und eine EMV-Halle am Institut für Energieübertragung und Hochspannungstechnik dienen primär hochschulinternen Forschungszwecken.

2. Wissenschaftliches Profil

2.1. Energiewissenschaftliche Tätigkeitsschwerpunkte

Die Energietechnik sowie wirtschaftliche und ökologische Aspekte der Energieversorgung zählen zu den Schwerpunkten in Lehre und Forschung an der Universität Stuttgart. Entsprechend werden an der Fakultät Energietechnik die Bereiche Energienutzung, Kraftwerkstechnik sowie Energietransport und -speicherung in einem breiten Themenspektrum erforscht. Das Institut für Kernenergetik und Energiesysteme beschäftigt sich mit System- und Anlagentechnik, der Simulation komplexer Systeme, Thermofluidodynamik, Umweltschutz- und Sicherheitstechnik sowie der Neutronen- und Strahlenphysik. Das Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung befaßt sich mit energiewirtschaftlichen und Umweltanalysen sowie der Optimierung von Energiesystemen. Die Staatliche Materialprüfungsanstalt arbeitet im Energiebereich vornehmlich an der Entwicklung verbesserter Werkstofftechnologien für nukleare, konventionelle und Wasserkraftwerke. Auf dem Gebiet der Kraftwerkstechnik bearbeitet das Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen die Bereiche Feuerungstechnik, Luftreinhaltung, mathematische Modellierung sowie Automatisierungstechnik. Schwerpunkte der Arbeiten des Instituts für Thermische Strömungsmaschinen und Maschinenlaboratorium liegen ebenfalls im Bereich der Kraftwerkstechnik; es werden Forschungen auf den Gebieten Turbomaschinen, Maschinenmeßtechnik, akustische Emissionen sowie Untersuchungen zu Wirkungsgrad und Betriebsverhalten von Maschinenelementen durchgeführt. Physikalisch-chemische Grundlagen von Verbrennungsprozessen werden am Institut für Technische Verbrennung erforscht. Am Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik stehen Fragen des Wärmetransports beim Sieden und der Wärmespeicherung im Mittelpunkt der Forschungen.

An der Fakultät Elektrotechnik befaßt sich das Institut für Physikalische Elektronik im energiewissenschaftlichen Bereich vornehmlich mit der Entwicklung von Dünnschichtsolarzellen sowie Untersuchungen auf dem Gebiet der Wasserstofftechnik. Das Institut für Plasmaforschung entwickelt auf dem Gebiet der Kernfusion eine Mikrowellenheizung (ECRH) in enger Kooperation mit dem Max-Planck-Institut für Plasmaphysik in Garching; daneben werden plasmatechnologische Verfahren zur Beschichtung von Solarzellen und Brennstoffzellen-Elementen erforscht. Das Institut für Energieübertragung und Hochspannungstechnik befaßt sich mit Prüf-, Meß- und Sensortechniken zum Schutz, zur Überwachung und zur Diagnose von Betriebsmitteln und Energiesystemen. Das Institut für Elektrische Maschinen und Antriebe arbeitet unter anderem an der Erforschung des Einsatzes der Hochtemperatur-Supraleitung in der elektrischen Antriebstechnik.

2.2. Wichtige Forschungsergebnisse

In der Fakultät Energietechnik wurden auf dem Gebiet der Solartechnik solarunterstützte Nahwärmesysteme entwickelt, die im Rahmen von Pilotprojekten getestet werden, sowie ein Forschungs- und Testzentrum für Solaranlagen aufgebaut. Die Weiterentwicklung von Methoden zur Bestimmung des nutzungsabhängigen Energiebedarfs von Gebäuden sowie systemanalytische Beiträge zur rationellen und ökologischen Energieanwendung führten zu neuen Ergebnissen im Bereich der Energienutzung. In der Kerntechnik wurden Ergebnisse auf den Gebieten Strahlenpyrometrie, Abschätzung und probabilistischer Analyse von Störfällen und der Berechnung der Lastfolge von Kernkraftwerken erzielt. Als Ergebnisse auf dem Gebiet der Kraftwerkstechnik werden die Entwicklung schadstoffreduzierter Verbrennungstechniken für fossile und andere Brennstoffe, Beiträge zur Wirkungsgradverbesserung bei Turbomaschinen, die Entwicklung einer Entspannungsturbine zur Energierückgewinnung in hydraulischen Leitungssystemen, die Entwicklung eines Verfahrens zur Integration detaillierter chemischer Verbrennungsmodelle in Programme zur Modellierung reaktiver Strömungen sowie eine Vielzahl von werkstofftechnologischen Verbesserungen genannt. Auf dem Gebiet der Fahrzeug- und Motorentechnik für Otto- und Dieselmotoren wurden akustische, aero- und fahrdynamische Verbesserungen erarbeitet und Verfahren zur

Verbrennungsoptimierung sowie zur Minderung der Geräusch- und Abgasemissionen entwickelt.

An der Fakultät Elektrotechnik wurden im Bereich der physikalischen Elektronik Dünnschichtsolarzellen auf der Basis von Kupfer-Indium-Diselenid (CIS) mit erhöhten Wirkungsgraden bis zur Anwendungsreife entwickelt. Auf dem Gebiet der Plasmaforschung waren Erfolge in der Plasmaheizung und -diagnostik mit Hochleistungs-Mikrowellen zu verzeichnen. Beiträge zur Verbesserung von Energietransport und -verteilung wurden durch die Entwicklung eines Transformator-Überwachungssystems zur Auswertung von dielektrischen, thermischen und mechanischen Kennwerten geleistet.

2.3. Veröffentlichungen und Patente

Wissenschaftler der Universität Stuttgart veröffentlichten in den Jahren 1994 bis 1996 mehr als 1200 Arbeiten zur Energieforschung in Zeitschriften, als Konferenzberichte oder in Form anderer Publikationen. 13 Patente wurden, teilweise in Kooperation mit Industrieunternehmen, im selben Zeitraum angemeldet.

2.4. Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Beteiligungen an internationalen Forschungsprojekten

Die energiewissenschaftlich tätigen Institute der Universität Stuttgart pflegen eine Vielzahl von Kooperationsbeziehungen innerhalb und außerhalb der Hochschule. Unter den außeruniversitären Einrichtungen werden insbesondere das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg, überwiegend in Stuttgart ansässige energiewissenschaftlich arbeitende Institute des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) sowie die Akademie für Technikfolgenabschätzung Baden-Württemberg genannt. Der Technologietransfer in die industrielle Anwendung wird an fast allen Instituten durch Forschungsk Kooperationen mit Industrieunternehmen geleistet, wobei neben der Auftragsforschung auch der Personalaustausch mit und der Personentransfer in industrielle Forschungseinrichtungen als Instrumente des Technologietransfers genannt werden. Die Stuttgarter

Institute kooperieren außerdem mit in- und ausländischen Forschungseinrichtungen bei öffentlich geförderten Forschungsprojekten, bei denen sie teilweise Koordinationsfunktionen übernehmen. Daneben sind sie an einer Reihe von Projekten beteiligt, deren Trägerschaft bei der Stiftung Energieforschung Baden-Württemberg oder der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungseinrichtungen liegt.

Hochschulintern bestehen instituts- und fakultätsübergreifende institutionalisierte Austauschbeziehungen zwischen den am erwähnten Sonderforschungsbereich und Graduiertenkolleg beteiligten Instituten, daneben aber auch im Rahmen der "Arbeitsgruppe Luftreinhaltung der Universität Stuttgart", die seit 1988 25 Institute aus verschiedenen Fakultäten der Hochschule zusammenführt.

2.5. Lehrtätigkeit und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses

An der Universität Stuttgart bestehen energiewissenschaftliche Vertiefungsmöglichkeiten im Studiengang Maschinenwesen, der von der Fakultät Energietechnik gemeinsam mit der Fakultät Konstruktions- und Fertigungstechnik getragen wird und welcher im Wintersemester 1995/96 2504 Studierende, darunter 191 Studienanfänger, verzeichnete. Im Hauptstudium besteht hier die Möglichkeit der vertiefenden Beschäftigung mit Fragen der Nutzung konventioneller und regenerativer Energien und der Kraftwerkstechnik.

Im Diplomstudiengang Elektrotechnik bestehen im Hauptstudium Vertiefungsmöglichkeiten auf den Gebieten Elektrische Maschinen, Antriebe und Meßtechnik, Elektrische Energiesysteme sowie Automatisierungs- und Regelungstechnik. Im Wintersemester 1995/96 waren 1334 Studierende, darunter 140 Studienanfänger, in diesem Studiengang immatrikuliert; 206 Studierende schlossen im Jahr 1996 ihr Studium ab.

In den Studiengängen Umweltschutztechnik, Verfahrenstechnik, Technische Kybernetik, Technikpädagogik, Informatik, Physik und Technisch orientierte Betriebswirtschaftslehre bestehen als Nebenfächer und technische Schwerpunktfächer energiebezogene Lehrangebote.

An der Universität Stuttgart wurden in den Jahren 1994 bis 1996 mehr als 1300 Studien- und Diplomarbeiten zu energiewissenschaftlichen Themen angefertigt. Im gleichen Zeitraum wurden 113 Dissertationen und drei Habilitationsschriften im Bereich der Energieforschung vorgelegt.

Die Berufsaussichten ihrer Absolventen bewertet die überwiegende Zahl der Institute als gut bis sehr gut. Hervorgehoben wird mehrfach die zunehmende Bedeutung der Verbindung technischen und naturwissenschaftlichen Wissens mit systemanalytischen, energiewirtschaftlichen und ökologischen Kenntnissen für eine gute Position auf dem Arbeitsmarkt. Angesichts rückläufiger Mittel für die Energieforschung in Deutschland sei jedoch eine Verringerung der Ausbildungskapazitäten zu befürchten. Negativ wirke sich auf die Nachwuchssituation in der universitären Energieforschung die mangelnde Wettbewerbsfähigkeit der Hochschulen mit der Industrie wegen zu geringer Vergütungen aus. Dies führe zu Schwierigkeiten auch bei der Besetzung von Lehrstühlen.

3. Weitere Entwicklung

Die Energiewissenschaft bildet in Stuttgart einen Schwerpunkt in Lehre und Forschung, der nach dem Struktur- und Entwicklungsplan der Universität künftig weiter ausgebaut werden soll. Dazu gehört in der Lehre die Einrichtung eines neuen Studienganges "Energie- und Anlagentechnik", der an den Fakultäten Energietechnik und Elektrotechnik angesiedelt werden soll. Es ist vorgesehen, in diesem Studiengang den Energiebereich sowohl unter maschinenbaulichen und elektrotechnischen Gesichtspunkten als auch energiewirtschaftlichen und ökologischen Aspekten abzudecken.

In der Forschung sollen nach Darstellung der Hochschule künftig die Bereiche Sicherheitswissenschaft, Leittechnik und Technikfolgenabschätzung mit Bezug zur Energieversorgung stärkeres Gewicht haben. Zur Stärkung der Zusammenarbeit innerhalb der Hochschule und von Hochschulinstituten mit außeruniversitären

Forschungseinrichtungen sowie zur Intensivierung des Wissenstransfers in die Wirtschaft ist die Einrichtung eines "Zentrums für Energietechnik Stuttgart" in Planung.

B. Stellungnahme

An der Universität Stuttgart wird sehr gute Energieforschung in einem breiten Spektrum aktueller Forschungsthemen betrieben. Mit konsequenter Unterstützung des Landes Baden-Württemberg wurde an der Universität Stuttgart eine in der deutschen Hochschullandschaft bemerkenswerte Konzentration energiewissenschaftlichen Forschungspotentials geschaffen. Neben den in der Fakultät Energietechnik zusammengefaßten Instituten befassen sich weitere, an anderen Fakultäten angesiedelte Wissenschaftler mit einschlägigen Forschungsarbeiten, für die eine ausgezeichnete, teils in Deutschland einmalige versuchs- und meßtechnische Ausstattung zur Verfügung steht.

Grundlagenforschung wird dabei mit einem konsequenten Blick auf Anforderungen der industriellen Praxis betrieben, was sich in vielfältigen Forschungsk Kooperationen mit Industrieunternehmen äußert. Entsprechend ist das Drittmittelaufkommen der Hochschule aus der Industrie bemerkenswert hoch. Hervorzuheben ist die konsequente Einbindung des wissenschaftlichen Nachwuchses in innovative Forschungsprojekte, die zu einer hohen Motivation der Mitarbeiter der Institute führt. Der Wissenschaftsrat begrüßt ferner die Bemühungen der Hochschule, Mitarbeiter zur Vermarktung von Forschungsergebnissen anzuregen und sie bei der Unternehmensgründung zu unterstützen.

Das vorhandene wissenschaftlichen Potential und ihre thematische Breite versetzen die Universität Stuttgart in besonderem Maße in die Lage, Fragestellungen an den Schnittstellen der Fachgebiete aufzugreifen und sich aktiv an der Entwicklung forschungspolitischer Leitbilder zu beteiligen. Wünschenswert wäre eine bessere Koordination der Forschungsaktivitäten der einzelnen Institute und eine weitere Stärkung der institutsübergreifenden Zusammenarbeit. Als ersten Schritt dahin betrachtet der Wissenschaftsrat die von der Hochschule vorgesehene Einrichtung

eines von den Fakultäten für Energietechnik und für Elektrotechnik gemeinsam getragenen Studiengangs "Energie- und Anlagentechnik". Er begrüßt die Initiative im Hinblick auf die zu erwartenden positiven Impulse für die Energieforschung durch eine Stärkung der Zusammenarbeit beider Fakultäten.

Zu begrüßen sind ebenfalls die Planungen der Hochschule, ihr Forschungsprofil durch Gründung eines "Zentrums für Energieforschung" zu schärfen, das der instituts- und fakultätsübergreifenden Abstimmung und gemeinsamen Konzeption von Forschungsprojekten dienen und den Wissenstransfer in die industrielle Anwendung weiter verstärken soll. Der Wissenschaftsrat empfiehlt der Hochschule, ihre Planungen zu beschleunigen und dabei auch auf die Schaffung geeigneter Anreizstrukturen für kooperatives Arbeiten zu achten und der Zusammenarbeit von Hochschulinstituten mit den in Stuttgart ansässigen einschlägigen außeruniversitären Forschungseinrichtungen ausreichendes Gewicht beizumessen.

C.II. Fachhochschulen

II.1. Fachhochschule Aachen

A. Ausgangslage

1. Organisation und Ausstattung

1.1. Organisation

Energieforschung wird an der Fachhochschule Aachen im Fachbereich Energie- und Umweltschutztechnik, Kerntechnik betrieben. Seit 1992 existiert zudem eine zentrale wissenschaftliche Einrichtung, das "Solar-Institut Jülich" (SIJ). Standort beider Bereiche, deren Aktivitäten ineinander greifen, ist Jülich. Darüber hinaus beschäftigt sich der in Aachen befindliche Fachbereich Luft- und Raumfahrttechnik mit energiewissenschaftlichen Themen.

1.2. Haushalt und Personal

Ergänzend zu den Mitteln aus der Grundausstattung haben die Institute für Projekte in der Energieforschung im Jahr 1996 ca. 4,0 Mio. DM Drittmittel hauptsächlich von Land (2,6 Mio. DM) und EU (1,4 Mio. DM) eingeworben.

Nach Personenjahren waren im selben Jahr 25 Wissenschaftler in der Energieforschung tätig, von denen 11 über Drittmittel finanziert wurden.

1.3. Infrastruktur und Serviceeinrichtungen

Alle Energieforschung betreibenden Institute und Fachbereiche verfügen über Versuchseinrichtungen und Analysetechnik (Laboratorien, Prüfstände) für ihre jeweiligen Forschungsgebiete, die überwiegend von internen Nutzern für FuE-Projekte und Lehre in Anspruch genommen werden.

Der in Jülich existierende Solarpark wirkt als Bindeglied zwischen der am SIJ betriebenen Energieforschung und der Öffentlichkeit und wird deshalb stark von externen Nutzern beansprucht.

2. Wissenschaftliches Profil

2.1. Energiewissenschaftliche Tätigkeitsschwerpunkte

An der Fachhochschule Aachen bestehen im Bereich der Energieforschung zwei durch das Forschungsministerium des Landes NRW genehmigte Forschungsschwerpunkte (thermische Nutzung der Sonnenenergie; Wasserstoff in Flugtriebwerken) sowie ein hochschulinterner Forschungsschwerpunkt (Umwelt, Aerodynamik - Ausbreitung von Emissionen in Stadtgebieten). Neben der Nutzung regenerativer Energien (SIJ) und der entsprechenden Implementationsforschung gehören vergleichende Analysen von Fahrzeugantrieben und fortschrittliche Brennstoffzellenantriebe sowie Arbeiten zur Wirkungsgradoptimierung und Kostenreduktion von Antriebssystemen (z.B. Generatoren für Windkraftanlagen) zum Themenspektrum der in der Energieforschung tätigen Bereiche und Institute. Auf dem Gebiet der Wasserstoff-Energietechnik steht die Frage der umweltverträglichen und wirtschaftlichen Bereitstellung von Wasserstoff als Energieträger und -speicher im Vordergrund. An der Fachhochschule in Aachen wird daran gearbeitet, Wasserstoff künftig als Treibstoff im Luftverkehr einsetzen zu können. Grundsätzlich steht der Anwendungsaspekt bei allen Forschungsschwerpunkten und Projekten im Vordergrund.

2.2. Wichtige Forschungsergebnisse

Als wichtige Forschungsergebnisse der Energieforschung in den einzelnen Bereichen sind beispielhaft anzuführen:

- Projekt "Solar-Campus": Niedrigenergiebauweise beim Ausbau der Hochschule (Studentenwohnungen, Fachhochschulgebäude, Stadtwerke),

- Hybride Energieversorgung im ländlichen Raum: Kühlung, Wasserpumpen, Lebensmittelproduktion etc. (Projekt "C.A.R.E." = Centre for the Application of Renewable Energies in Kreta),
- Solares Kochen, Dorfstromversorgung, solare Prozeßwärme (Projekt "Entwicklungsländer-Technologien"),
- bedeutende Reduktion der Stickoxidemissionen bei Wasserstoffdiffusionsverbrennung mit Luft,
- Beherrschung schneller Lastwechselvorgänge von Gasturbinen in Betrieb mit gasförmigem Wasserstoff.

2.3. Veröffentlichungen und Patente

In den Jahren 1994 bis 1996 haben Mitarbeiter der in der Energiewissenschaft tätigen Fachbereiche und Institute der Fachhochschule Aachen rund 150 Arbeiten veröffentlicht; hierzu zählen Veröffentlichungen in begutachteten Zeitschriften (18) und Konferenzberichten (42), Monographien sowie weitere Publikationen (87). Im selben Zeitraum wurden drei Patente und ein Gebrauchsmusterschutz angemeldet.

2.4. Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Beteiligungen an internationalen Forschungsprojekten

Die Zusammenarbeit mit der Industrie, Hochschulen, Ingenieurbüros und mit dem Forschungszentrum Jülich ist im allgemeinen nicht institutionalisiert. Nahezu alle Projekte werden allerdings mit Kooperationspartnern durchgeführt und dienen dazu, entweder Know-how oder Technologien zu transferieren. Neben konkreten anwendungsorientierten Projekten mit der Industrie existieren Gemeinschaftsvorhaben im Rahmen von EU- und BMBF-Programmen. Insbesondere das SIJ weist darauf hin, daß es sich bei seinen Projekten um einen langfristig angelegten Technologie- und Wissenstransfer in die Industrie und zu den Partnern handelt.

2.5. Lehrtätigkeit und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses

Im Rahmen des Studiengangs Maschinenbau existieren die Studienrichtungen Energie- und Umweltschutztechnik und Kerntechnik als energiewissenschaftliche Vertiefungsangebote. Nach Angaben der Hochschule verließen 1996 rund 130 Absolventen mit einem Schwerpunkt aus der Energieforschung die Fachhochschule Aachen. In den Jahren 1994 bis 1996 wurden nach Angaben der im Bereich der Energieforschung tätigen Institute und Fachbereiche ca. 215 Studien- und Diplomarbeiten angefertigt.

Die Situation für Absolventen, die eine Beschäftigung im Bereich der erneuerbaren Energie suchen, wird von den betreffenden Einrichtungen als zur Zeit schwierig bezeichnet.

3. Weitere Entwicklung

Die Hochschulleitung unterstützt die Bildung eines neuen, fachbereichsübergreifenden Forschungsschwerpunktes, der sich mit anwendungsbezogener Energieforschung befaßt und Wissenschaftler der Fachbereiche Architektur, Bauingenieurwesen und Chemieingenieurwesen zusammenbringt.

B. Stellungnahme

Die Fachhochschule Aachen ist mit überwiegend anwendungsbezogenen Forschungsarbeiten in Erscheinung getreten. Ihr Forschungskonzept kann in seiner Praxis- wie Ausbildungsbezogenheit als beispielhaft für die spezifischen Möglichkeiten von Fachhochschulen gewertet werden.

Die energierelevanten Forschungsarbeiten konzentrieren sich zu rund einem Drittel am Solar-Institut (SIJ) in Jülich. Die dort praktizierte Forschung und technische Entwicklung auf den Gebieten Solarforschung und dezentrale Energiesysteme zielt auf die direkte Umsetzung in der Praxis nicht nur in der unmittelbaren Umgebung

(Projekt 'Solar-Campus Jülich') und im eigenen Land, sondern vor allem auch in zahlreichen Drittländern. Ein besonderer Schwerpunkt der SIJ-Aktivitäten liegt auf der Installierung und dem Einsatz entsprechend einfacher Techniken in Entwicklungsländern. Er findet durch eine intensive Implementationsforschung, die die Rahmenbedingungen, Folgen und Auswirkungen der Projekte untersucht, sinnvolle Ergänzung und Rückwirkung. Die Studierenden am SIJ profitieren von der engen Kooperation mit Institutionen des In- wie Auslandes durch den hohen Praxisbezug der Projekte, die außerdem häufig mit Arbeitsaufenthalten im Ausland verbunden sind (z.B. zur Installierung von Anlagen). Ein Beleg für den Erfolg dieses praxisbezogenen Ausbildungsmodells ist in der ständig ansteigenden Zahl Studierender an der Fachhochschule zu erkennen. Defizite werden lediglich im Bereich der Meß- und Rechentechnik gesehen, dessen Ausstattung vorangetrieben werden sollte.

Ein zweiter Schwerpunkt der energiewissenschaftlichen Aktivitäten der Fachhochschule Aachen liegt im Fachbereich Luft- und Raumfahrttechnik und zielt auf die umweltverträgliche und wirtschaftliche Nutzung und Anwendung von Wasserstoff als Energieträger und -speicher im Flugzeugverkehr. Mit der Entwicklung eines speziellen Verfahrens (Mikro-Misch-Diffusions-Verbrennung bei Gasturbinen) konnte ein wichtiger Beitrag auf diesem anspruchsvollen, industrienahen Forschungsgebiet geleistet werden. Begrüßenswert ist auch hier der hohe Praxisbezug der Forschung, der in einer engen Zusammenarbeit mit der Industrie Ausdruck findet.

Hervorzuheben ist generell die konsequente Einbindung der Studierenden in die Forschungsprojekte, die zu einer hohen Motivation der Mitarbeiter der einzelnen Institute führt. Bei der weiteren Planung des Forschungs- und Arbeitsprogramms in der Energieforschung ist zu empfehlen, den Kreis der Themen nicht zu erweitern. Statt dessen sollte die Fachhochschule eine Konzentration auf ausgewählte, bewährte und im Rahmen ihrer Möglichkeiten effektiv zu bearbeitende Fragestellungen innerhalb des breiten Spektrums der Energieforschung vornehmen. Die bisherige Profilbildung fände dadurch eine konsequente Fortführung.

II.2. Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH)

A. Ausgangslage

1. Organisation und Ausstattung

1.1. Organisation

An der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden wird Energieforschung am Forschungsinstitut Fahrzeugtechnik im Fachbereich Maschinenbau/Verfahrenstechnik betrieben. Übergreifende Strukturen und Organisationsformen oder fakultätsübergreifend für die Energieforschung zur Verfügung stehende Personal-, Sachmittel- oder Raumausstattung gibt es nicht.

1.2. Haushalt und Personal

Am Forschungsinstitut Fahrzeugtechnik befassen sich sieben Wissenschaftler, sechs davon aus Drittmitteln finanziert, mit Energieforschung. Im Jahr 1996 hat das Institut 1,4 Mio. DM, vornehmlich von Bund und Land, an Drittmitteln für die Energieforschung einwerben können.

1.3. Infrastruktur und Serviceeinrichtungen

Für die Forschungsarbeiten werden Labore und Prüfstände der Studiengänge Fahrzeugtechnik, Chemieingenieurwesen/Umwelttechnik und Elektrotechnik/Informatik sowie die zentrale Rechentechnik der Fachhochschule genutzt.

2. Wissenschaftliches Profil

2.1. Energiewissenschaftliche Tätigkeitsschwerpunkte

Auf dem Gebiet der Verbrennung werden innermotorische Vorgänge von Zwei- und Vier-Takt-Diesel- und Ottomotoren untersucht, Abgasnachbehandlungssysteme erforscht und alternative Konzepte für Kraftfahrzeugantriebe entwickelt.

2.2. Wichtige Forschungsergebnisse

Nach Angaben der Hochschule konnten wichtige Ergebnisse im Bereich der Verlustenergienutzung an Verbrennungsmotoren sowie der Verbesserung der Energieumsetzung und der Nutzung von Wasserstoff in Verbrennungsmotoren erzielt werden.

2.3. Veröffentlichungen und Patente

Mitarbeiter des Instituts für Fahrzeugtechnik veröffentlichten in den Jahren 1994 bis 1996 14 Arbeiten in Zeitschriften, als Konferenzberichte oder in anderen Publikationen. Im gleichen Zeitraum wurden sechs Patente angemeldet, die überwiegend "Common-Rail-Einspritzsysteme" betrafen, mit deren Hilfe die Schadstoffemissionen und der Energieverbrauch von Dieselmotoren gesenkt werden sollen; eins der Patente wurde bereits erteilt.

2.4. Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Beteiligungen an internationalen Forschungsprojekten

Das Institut arbeitet mit einer Reihe von Unternehmen der Automobilbranche im Rahmen von Verbundvorhaben zusammen. Außerdem bestehen Kooperationsbeziehungen mit der Technischen Universität Dresden und der Universität Rostock. Die Forschungen auf dem Gebiet der Dieselmotoren werden auch über ein Förderprogramm der EU unterstützt.

2.5. Lehrtätigkeit und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses

In den Jahren 1994 bis 1996 wurden 15 Diplomarbeiten mit dem Themenschwerpunkt "Verbrennung/Energieumsetzung in Verbrennungsmotoren" eingereicht. Im

gleichen Zeitraum wurden acht Diplomarbeiten mit dem Themenschwerpunkt "Analyse von Energiesystemen" angefertigt.

3. Weitere Entwicklung

Die Hochschule erarbeitet derzeit Konzepte für die künftige Entwicklung von Forschung und Lehre. Die Energieforschung ist in diese Überlegungen einbezogen.

B. Stellungnahme

Die energierelevanten Forschungsarbeiten an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden auf dem Gebiet der Verbrennungsmotoren für Kraftfahrzeuge sind konsequent auf eine klar formulierte Zielsetzung ausgerichtet, die in der Senkung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs und von Schadstoffemissionen liegt. Beispielfürhaft dafür sind Forschungen zur definierten Kraftstoffeinbringung in Dieselmotoren (Common-Rail-Einspritzsysteme), deren Ergebnisse zum Patent angemeldet wurden. Bemerkenswert sind auch die Arbeiten zur Brennraumendoskopie, die die Hochschule in Kooperation mit in- und ausländischen Forschungseinrichtungen vorantreibt.

Hervorzuheben sind die produktorientierte Ausrichtung der Forschungsarbeiten, die vielfach in Zusammenarbeit mit der Industrie durchgeführt werden, sowie die Erfolge bei der Einwerbung von Drittmitteln. Der Wissenschaftsrat empfiehlt der Fachhochschule, ihre Forschungskapazitäten vorrangig auf Fragestellungen angewandter Forschung zu konzentrieren und bei der Erlangung notwendigen Grundlagenwissens verstärkt mit Universitäten zu kooperieren.

II.3. Hochschule für Technik, Wirtschaft und Sozialwesen (FH) Zittau/Görlitz

A. Ausgangslage

1. Organisation und Ausstattung

1.1. Organisation

Energieforschung hat am Standort Zittau eine lange Tradition, die mit der Gründung einer Ingenieurschule für Energiewirtschaft im Jahr 1951 ihren Anfang nahm. Diese wurde im Jahr 1969 in eine Ingenieurhochschule, im Jahr 1988 in eine Technische Hochschule umgewandelt, die sich auf die Ausbildung und Forschung auf den Gebieten Kraftwerksanlagen - mit einem besonderen Schwerpunkt auf der Instandhaltung von Kraftwerken -, Energieumwandlung, Elektroenergieversorgung und Betriebswirtschaft konzentrierte.⁴⁸

Energieforschung wird nach der Gründung der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Sozialwesen im Jahr 1992 am Standort Zittau heute in den Fachbereichen Elektrotechnik, Bauwesen, Maschinenwesen, Mathematik/Naturwissenschaften und Wirtschaftswissenschaften betrieben. Daneben befassen sich die Hochschul-institute für Prozeßtechnik, Prozeßautomatisierung und Meßtechnik, für Energie und Regionalökonomie sowie für Ökologie und Umweltschutz mit Fragen der Energieforschung. Diese Institute arbeiten mit thematisch eng verwandten An-Instituten zusammen, die im Zentrum für angewandte Forschung zusammengefaßt sind.

Über die Fachbereiche und einzelnen Institute hinausgehende Personal-, Sachmittel- oder Raumausstattung speziell für die Energieforschung gibt es nicht; jedoch ist die Energieforschung in Maßnahmen der Hochschulleitung zur Förderung von Forschungsaktivitäten, wie zum Beispiel der leistungsabhängigen Vergabe von

⁴⁸ Siehe auch Wissenschaftsrat: Empfehlungen zur künftigen Struktur der Hochschullandschaft in den neuen Ländern und im Ostteil von Berlin, Teil II, Köln 1992, S. 118.

sächlichen Verwaltungsmitteln, der Bereitstellung von gesonderten Haushaltsmitteln für Forschungsinvestitionen oder von Sachmitteln zur Vorbereitung und Planung von Forschungsvorhaben, einbezogen.

1.2. Haushalt und Personal

Zusätzlich zu den Mitteln aus der Grundausstattung wurden im Jahr 1996 insgesamt 2,3 Mio. DM an Drittmitteln, vornehmlich von öffentlichen Geldgebern, für die Energieforschung eingeworben. Nach Personenjahren befassen sich an der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Sozialwesen 56 Wissenschaftler mit Fragen der Energieforschung, 33 davon sind über Drittmittel finanziert.

1.3. Infrastruktur und Serviceeinrichtungen

An der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Sozialwesen steht eine Reihe von Infrastruktureinrichtungen für die Energieforschung zur Verfügung. Dazu gehört das "Niedrig-energiehaus Zittau", das mit seiner umfangreichen technischen Ausstattung für Lehre und Forschung im Fachbereich Bauwesen genutzt wird. Das Hochspannungs- und Hochstromlabor am Fachbereich Elektrotechnik wird auch von externen Forschergruppen, insbesondere aus der Industrie, genutzt. Der "Zittauer Lehr- und Forschungsreaktor (ZLFR)" am Fachbereich Maschinenwesen dient der kern- und strahlentechnischen Ausbildung und Forschung. Eine Druckbehälterversuchsanlage und ein Prüfstand für leistungsstarke magnetgelagerte Antriebe am Institut für Prozeßtechnik, Prozeßautomatisierung und Meßtechnik werden zur Erforschung sicherheitsrelevanter Systeme der Energietechnik im Rahmen von Kooperationsvereinbarungen auch von Dritten genutzt.

2. Wissenschaftliches Profil

2.1. Energiewissenschaftliche Tätigkeitsschwerpunkte

Energieforschung wird an der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Sozialwesen auf den Gebieten Kraftwerkstechnik, Energieumwandlung, Energietransport und -

verteilung, Kernenergie und Energiewirtschaft betrieben. Die Forschungen konzentrieren sich auf die Schwerpunkte Umweltschonende Energieversorgung, Energieoptimierendes Bauen, Automatisierung im Kraftwerksbereich, Nukleare Sicherheit, Regionalwirtschaftliche Fragen der Energieversorgung, energiewirtschaftliche Entwicklungen in den Transformationsstaaten Mittel- und Osteuropas sowie Werkstoff- und Komponentenverhalten.

Am Fachbereich Elektrotechnik stehen Fragen der Automatisierungstechnik, des Energietransports sowie der Energieverteilung im Vordergrund der Forschungsaktivitäten. Die Wissenschaftler des Fachbereichs Bauwesen befassen sich mit energieoptimierendem Bauen, der Solarwärmenutzung und der Nutzung der Geothermie. Am Fachbereich Maschinenwesen wird in der Fachgruppe Energie- und Umwelttechnik in den Bereichen Kraftwerkstechnik, Bioenergie, Radiologie und thermodynamische Grundlagen geforscht. Im Fachgebiet technische Thermodynamik wird in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Dresden der Bereich thermodynamischer Stoffdaten für die Arbeitsfluide der Energietechnik bearbeitet. Im Fachbereich Mathematik/Naturwissenschaften befaßt sich das Fachgebiet Chemie mit Fragen der Kraftwerkschemie, das Fachgebiet Ökologie/Umweltschutz mit erneuerbaren Energien. Die Forschungsarbeiten am Fachbereich Wirtschaftswissenschaften konzentrieren sich auf systematische Aspekte der Energieversorgung und -wirtschaft mit besonderem Schwerpunkt auf den Transformationsprozessen in den Ländern Mittel- und Osteuropas.

Das Institut für Prozeßtechnik, Prozeßautomatisierung und Meßtechnik forscht grundlagen- und anwendungsorientiert auf den Gebieten Automatisierungstechnik, Sicherheit von Kernkraftwerken, Magnetlagertechnik und Verbrennungstechnik. Das Institut für Ökologie und Umweltschutz betreibt Energieforschung insbesondere unter Gesichtspunkten der Schadstoffemission. Anwendungsbezogene Systemanalysen bilden den Schwerpunkt der Arbeiten am Institut für Energie und Regionalökonomie.

2.2. Wichtige Forschungsergebnisse

Vom Fachbereich Elektrotechnik wurden Methoden und Verfahren entwickelt, die Zuverlässigkeit elektroenergetischer Bauteile zu bewerten. Die Fortentwicklung der Regelung und Automatisierung energetischer Prozesse insbesondere in Kraftwerken durch die Anwendung moderner mathematisch-technischer Verfahren wird als weiteres bedeutenderes Ergebnis der Forschungen in diesem Fachbereich genannt. Im Fachbereich Maschinenwesen hat die dort betriebene thermodynamische Forschung zur Weiterentwicklung von Zustandsgleichungen für Wasser und Wasserdampf geführt. Daneben konnten Verfahren zur Berechnung von reibungsfreien Strömungen und Grenzschicht-Stoß-Wechselwirkungen für hochbelastete Hochdruckturbinengitter verbessert sowie Beiträge zur optimalen Verbrennung problematischer Mischbrennstoffe geleistet werden. Am Institut für Prozeßtechnik, Prozeßautomatisierung und Meßtechnik wurden unter anderem Meßverfahren zur Füllstandsbestimmung in sicherheitsrelevanten Druckbehältern entwickelt und verifiziert, ein Fuzzy-Controller für die Turbinenregelung bei Lastabwurf sowie ein Simulationswerkzeug für die Analyse des dynamischen Verhaltens von komplexen Kraftwerkssystemen und den Reglerentwurf entwickelt.

Auf dem Gebiet des energieoptimierenden Bauens konnte der Fachbereich Bauwesen Beiträge zur Weiterentwicklung des Niedrigenergiehauses, zu energetischen Sanierungskonzepten in innerstädtischen Bereichen und zur Verbesserung der energetischen und bautechnischen Sanierung von industriellen Wohnbauten leisten. Der Fachbereich Wirtschaftswissenschaften und das Institut für Energie und Regionalökonomie erarbeiteten Studien auf dem Gebiet der regionenbezogenen Energiewirtschaft, teilweise in Form von Drittmittelprojekten.

2.3. Veröffentlichungen und Patente

Mitarbeiter der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Sozialwesen und ihrer An-Institute veröffentlichten in den Jahren 1994 bis 1996 rund 250 Arbeiten zur Energieforschung in Zeitschriften, als Konferenzberichte und in anderen Publikationsformen. Es wurden zwei Patente angemeldet.

2.4. Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Beteiligungen an internationalen Forschungsprojekten

Die Kooperationsbeziehungen der einzelnen Fachbereiche und Institute der Hochschule sind vielfältig und erstrecken sich auf Partner in Industrie und Wissenschaft in der Region, in anderen Gebieten Deutschlands und im Ausland. Häufig genannte Kooperationspartner sind Energieversorgungsunternehmen, mit denen nicht nur die naturwissenschaftlich-technisch orientierten Fachbereiche und Institute zusammenarbeiten, sondern unter energiewirtschaftlichen Gesichtspunkten auch der Fachbereich Wirtschaftswissenschaften. Dieser kooperiert im Rahmen seines "Zittauer Seminars zur energiewirtschaftlichen Situation in den Ländern Osteuropas", das seit 1991 jährlich stattfindet, mit Institutionen in 12 Ländern Mittel- und Osteuropas. Das Institut für Prozeßtechnik, Prozeßautomatisierung und Meßtechnik beteiligt sich mit theoretischen und experimentellen Arbeiten am internationalen Verband zur Verifizierung des Thermohydraulik-Codes ATHLET zur Störfallanalyse in Kernkraftwerken.

2.5. Lehrtätigkeit und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses

Im Studiengang Energie- und Umwelttechnik mit den Studienrichtungen Wärme- und Kraftwerktechnik, Regenerative Energien und Kernenergie/Strahlentechnik waren im Wintersemester 1996/97 37 Studierende eingeschrieben, darunter 18 Studienanfänger. Vier Studierende legten im Jahr 1996 ihr Examen ab. Energie-wissenschaftliche Fragestellungen werden außerdem in den Studiengängen Elektrotechnik, Ökologie und Umweltschutz, Umweltchemie, Verfahrenstechnik, Ver- und Entsorgungstechnik sowie Wirtschaftsingenieurwesen behandelt. Außerdem beendeten im Jahr 1996 insgesamt 125 Studierende ihre Ausbildung in energiewissenschaftlich relevanten auslaufenden Studiengängen (z.B. Wärmetechnik, Energie- und Verfahrenstechnik). Weitere 43 Studierende schlossen 1996 ihre Ausbildung in den Fachgebieten Elektrotechnik, Energie- und Versorgungstechnik sowie Ver- und Entsorgungstechnik in sogenannten "Brückenkursen" zur

Nachgraduierung für Ingenieure ab. Daneben bemühen sich einige Hochschullehrer durch die Mitbetreuung von Doktoranden sächsischer Universitäten um die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses.

Die Berufschancen ihrer Absolventen bewerten die in der Energieforschung tätigen Einrichtungen der Hochschule überwiegend als gut bis sehr gut. Adäquate Einstiegsmöglichkeiten böten sich bei Industrie- und Energieversorgungsunternehmen in der Region, aber auch im gesamten Bundesgebiet.

3. Weitere Entwicklung

In der mittel- und langfristigen Planung der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Sozialwesen wird der Energieforschung im Rahmen der Forschungsschwerpunkte "Energie und Umwelt", "Bauen und Umwelt", "Automatisierung", "Nukleare Sicherheit", "Regionalwirtschaft" und "Werkstoffe und Bauteilverhalten" große Bedeutung beigemessen. Daneben werden zur Zeit Überlegungen zur Einrichtung eines neuen Forschungsschwerpunktes "Entsorgung von kerntechnischen Standorten" getätigt, der unter Nutzung der vorhandenen wissenschaftlichen und technischen Infrastruktur interdisziplinär bearbeitet werden soll.

B. Stellungnahme

Am Standort Zittau der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Sozialwesen Zittau/Görlitz wird Energieforschung auf einer Vielzahl von Themenfeldern betrieben. Verschiedene Fachbereiche bearbeiten Einzelprojekte auf den Gebieten Kraftwerkstechnik, Kernenergie, Energieumwandlung, Energietransport und -verteilung, energieoptimiertes Bauen und Energiewirtschaft. Daneben befassen sich zur Unterstützung der fachbereichsübergreifenden Zusammenarbeit und der Mitteleinwerbung in der Hochschule eingerichtete Institute mit Fragen der Energieforschung. Sie werden durch thematisch komplementär arbeitende An-Institute ergänzt. Ihrer geographischen Lage im Grenzgebiet zu Polen und Tschechien trägt die Hochschule - neben Initiativen zur Internationalisierung der Ausbildung - auch in der

Energieforschung durch grenzübergreifende Projekte, so zur Erstellung von Emissionskatastern oder zur Entwicklung von Energiekonzepten, Rechnung.

Begrüßenswert ist das Ausmaß der Kooperation mit Hochschulen und Industrieunternehmen im In- und Ausland beim überwiegenden Teil der energiewissenschaftlichen Forschungsarbeiten. Hervorzuheben ist auch der hohe Anteil von Drittmitteln für die Forschung aus der Industrie. Die materielle Grundausstattung der Fachhochschule, die der Wissenschaftsrat 1992 in seiner Stellungnahme zur Gründung der Hochschule als dringend modernisierungs- und ergänzungsbedürftig bezeichnet hatte⁴⁹, ist in weiten Teilen verbessert worden; so steht für Arbeiten zu Werkstoff- und Bauteilverhalten, für die Diagnostik im Bereich Energieverteilung und -transport sowie für Untersuchungen zur Starkstrombeeinflussung eine gute labor- und meßtechnische Infrastruktur zur Verfügung.

Notwendig ist eine stärkere Koordination der energiewissenschaftlichen Forschungsaktivitäten durch fachbereichsübergreifende Formulierung gemeinsamer Themenstellungen im Rahmen der von der Hochschule definierten Forschungsschwerpunkte. Die Fachhochschule sollte ihr Profil dabei im Hinblick auf angewandte Forschung schärfen.

Der Wissenschaftsrat hält es für sinnvoll, die bestehenden Kompetenzen in der Kraftwerkstechnik auch im Hinblick auf die Entsorgung kerntechnischer Anlagen anwendungsnah auszubauen, um die traditionelle Spezialisierung der Hochschule auf Kraftwerksbetrieb und -instandhaltung konsequent zu ergänzen. Bei der Konzeption dieses Forschungsschwerpunktes sollte der Kooperation mit mittel- und osteuropäischen Staaten, zu denen die Hochschule traditionell enge Beziehungen pflegt, ein hoher Stellenwert beigemessen werden.

⁴⁹ Wissenschaftsrat: Empfehlungen zur künftigen Struktur der Hochschullandschaft in den neuen Ländern und im Ostteil von Berlin. Teil II, Köln 1992, S. 119.

C.III. Fraunhofer-Gesellschaft

III.1. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE), Freiburg

A. Ausgangslage

1. Gründung und Aufgaben

Das im Jahre 1981 gegründete Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE), Freiburg, entwickelt Systeme, Komponenten, Materialien und Verfahren auf den Gebieten Solarthermie, Solararchitektur, Solarzellen, elektrische Energieversorgung, chemische Energiewandlung und Speicherung sowie rationelle Energienutzung. Die Arbeit des Institutes reicht von der Erforschung der naturwissenschaftlich-technischen Grundlagen der Solarenergienutzung über die Entwicklung von Prototypen bis zur Ausführung von Demonstrationsanlagen. Das Institut plant, berät und stellt Know-how sowie technische Ausrüstung für Dienstleistungen zur Verfügung.

2. Organisation und Ausstattung

2.1. Organisation

Das Institut umfaßt die vier wissenschaftlichen Abteilungen

- Thermische und optische Systeme
- Solarzellen - Werkstoffe und Technologie
- Photovoltaische Systeme und Meßtechnik
- Chemische Energiewandlung und Speicherung,

daneben bestehen Service- und Verwaltungseinheiten. Die Arbeiten des Instituts werden in den monatlich stattfindenden Sitzungen des Institutsleitungsausschusses, der sich aus dem Institutsleiter, den Abteilungsleitern, dem Verwaltungsleiter und einem gewählten Vertreter aus dem Institut zusammensetzt, koordiniert. Ein Kuratorium, dem Vertreter von Wissenschaft, Industrie und Politik (Land, Bund)

angehören, begutachtet die Forschungsprojekte und berät die Institutsleitung bezüglich des Arbeitsprogrammes.

2.2. Haushalt und Personal

Das Gesamtvolumen des Haushalts, der zu 100 % auf die Energieforschung entfällt, belief sich im Jahr 1996 auf 28,8 Mio. DM, davon entfielen 14,7 Mio. DM auf Personalkosten, 11,3 Mio. DM auf Verbrauchsmittel und 2,8 Mio. DM auf Investitionen. Etwa ein Viertel des Gesamthaushaltes (7,4 Mio. DM) wurde im Rahmen der institutionellen Forschungsförderung von Bund und Ländern zur Verfügung gestellt, die übrigen 21,4 Mio. DM wurden als Dritt- und Projektmittel von Bund (12,5 Mio. DM), Industrie (4,7 Mio. DM), EU (1,9 Mio. DM), Ländern (1,3 Mio. DM), der Fraunhofer-Gesellschaft (0,7 Mio. DM) und anderen Institutionen (0,3 Mio. DM) eingeworben.

Das ISE verfügte im Jahr 1996 über insgesamt 108 Planstellen, davon 78 für Wissenschaftler, von denen etwa zwei Drittel eine unbefristete Stelle innehatten. Zusätzlich wurden 114 Stellen aus Drittmitteln finanziert, davon 76 für Wissenschaftler (einschließlich Gastwissenschaftler und Doktoranden). Die Gesamtzahl der Stellen am Institut belief sich - ohne wissenschaftliche Hilfskräfte - auf 222 Stellen. Der größte Teil der Wissenschaftler ist zwischen 30 und 40 Jahre alt.

In den letzten fünf Jahren haben 5 Wissenschaftler, die eine unbefristete Stelle innehatten, sowie etwa 20 Doktoranden und Mitarbeiter auf befristeten Stellen das Institut verlassen und eine Tätigkeit in der Industrie aufgenommen; drei Wissenschaftler übernahmen Professuren an den Universitäten Karlsruhe, Duisburg und Kassel.

2.3. Infrastruktur und Serviceeinrichtungen

Das Institut bietet seine Meß- und Charakterisierungslabors der Industrie für Untersuchungen an. Jährlich werden hierdurch Industriemittel im Umfang von etwa 500 TDM eingenommen. Ein weiterer wichtiger Dienstleistungsbereich ist die Erstellung

von Studien für die Industrie, mit denen Einnahmen von etwa 250 TDM im Jahr erzielt werden können.

3. Wissenschaftliches Profil

3.1. Energiewissenschaftliche Tätigkeitsschwerpunkte, neue Entwicklungen

Das ISE erforscht naturwissenschaftlich-technische Voraussetzungen für eine effiziente und umweltverträgliche Energieversorgung auf der Basis der technischen Nutzung der Sonnenenergie. Schwerpunktfelder der Institutsarbeit liegen in den Gebieten

- solares und energieoptimierendes Bauen sowie
- dezentrale photovoltaische Energieversorgung,

in denen die Anwendungen solarer Energietechniken heute bereits einen Markt besitzen oder dies in naher Zukunft zu erwarten ist. Beide Bereiche umfassen Materialforschung, Komponentenentwicklung, Meßtechnik und Systemtechnik, wobei ein besonderes Gewicht auf die Materialforschung gelegt wird. Die wesentlichen Arbeitsschwerpunkte in den einzelnen Abteilungen sind:

Thermische und Optische Systeme (30 % der Aktivitäten des Instituts):

- Materialforschung
- Aktive thermische Systeme
- Fenster- und Fassadensysteme
- Solares Bauen

Solarzellen - Werkstoffe und Technologien (23 % der Arbeiten des Instituts)

- Materialentwicklung Silicium
- Materialentwicklung III-V-Halbleiter
- Silicium-Solarzellen
- Solarzellen aus III-V-Halbleitern

Photovoltaische Systeme und Meßtechnik (36 % der Arbeiten des Instituts)

- Produkte mit integrierter photovoltaischer Energieversorgung
- Elektronische Komponenten für Batterien und Photovoltaikanlagen
- Stromversorgung mit Photovoltaik in Inselanlagen
- Ländliche Elektrifizierung in netzfernen Gebieten
- Energieversorgungskonzepte und Photovoltaik im Netzverbund
- Photovoltaik an Gebäuden
- Computersimulation und Energieflußanalysen
- Kalibrierung von und Messung an Solarzellen und Solarmodulen

Chemische Energiewandlung und Speicherung (11 % der Arbeiten des Instituts)

- Wasserstoffherzeugung durch Reformierung und Wasserelektrolyse
- Brennstoffzellen, Komponentenentwicklung und Systeme
- Katalytische Verbrennung

3.2. Wichtige Forschungsergebnisse

Als die bezüglich ihres Erkenntnisgewinns und ihrer Verwertbarkeit wichtigsten Forschungsergebnisse der letzten fünf Jahre werden angeführt:

Thermische und Optische Systeme

- Entwicklung selektiver Beschichtungen für Kollektoren
- Entwicklung thermotroper und gasochromer Systeme zur Steuerung von Energieflüssen in Solarsystemen
- Einsatz von Submicron-Strukturen zur Entspiegelung von Oberflächen

Solarzellen - Werkstoffe und Technologien

- ein breites Spektrum von verschiedenen Solarzellenentwicklungen aus monokristallinem Silicium, multikristallinem Silicium, Dünnschichtsilicium und III-V-Halbleitern
- hohe Wirkungsgrade von Solarzellen, die im internationalen Vergleich nicht übertroffen wurden

- Entwicklung von Anlagen zur Prozessierung und Charakterisierung von Photovoltaik-Materialien und Solarzellen

Photovoltaische Systeme und Meßtechnik

- Entwicklung und Markteinführung von Geräten und Kleinsystemen mit integrierter photovoltaischer Energieversorgung
- Entwicklung und Erprobung neuer Konzepte für Wechselrichter und Batterieperipherie sowie zur Funktions- und Qualitätskontrolle von Anlagen und Komponenten
- Planung und Installierung photovoltaischer Inselanlagen zur Stromversorgung von Gebäuden im ländlichen Raum

Chemische Energiespeicherung und Wandlung

- Konzipierung neuer Materialien und Komponenten für Brennstoffzellen
- Entwicklung kleiner, kompakter Reformereinheiten für die Wasserstofferzeugung aus fossilen Energieträgern im kleinen Maßstab und mit hohen Wirkungsgraden
- Entwicklung eines katalytischen Brenners mit minimaler Schadstoffemission

3.3. Veröffentlichungen, Patente

Die Mitarbeiter des Instituts haben in den Jahren 1994 bis 1996 26 Artikel in begutachteten Zeitschriften sowie 182 Konferenzberichte veröffentlicht. Im gleichen Zeitraum wurden 38 Patente angemeldet, von denen bislang 8 erteilt wurden; 22 befinden sich noch in Bearbeitung, 7 wurden abgelehnt und eines übertragen.

3.4. Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Beteiligung an internationalen Forschungsprojekten

Das Institut arbeitet mit einer großen Zahl von Industrieunternehmen im Rahmen von Verbundprojekten zusammen; in dieser Zusammenarbeit werden relevante Forschungsergebnisse und Entwicklungsarbeiten im Hinblick auf ihre Anwendung fortgesetzt und Produkte zur Marktreife gebracht. Die Kooperation mit Universitäten

umfaßt die Zusammenarbeit mit dem Freiburger Material-Forschungszentrum - der Leiter des ISE ist Ordinarius an der Fakultät für Physik der Universität Freiburg und betreut dort drei Arbeitsgruppen - sowie die Kooperation mit dem Fachbereich Architektur der Universität Karlsruhe im Bereich Solares Bauen. Darüber hinaus besteht eine intensive Zusammenarbeit mit der Universität Karlsruhe bei der Erforschung des elektromagnetischen Abstrahlverhaltens von Solarmodulen, der Universität Utrecht, Niederlande, im Bereich der Modellierung von Solaranlagen sowie mit dem Lehrstuhl für Elektrotechnik der Universität San Juan in Argentinien, an dem eine Photovoltaik-Arbeitsgruppe aufgebaut wurde.

Das ISE ist Mitglied des Forschungsverbundes Sonnenenergie, in dem sich einige der auf dem Gebiet der Solarforschung tätigen Institutionen zusammengeschlossen haben. Die Einbindung in europäische Forschungsaktivitäten erfolgt über die EUREC Agency, in der 38 führende Solarinstitute aus Europa zusammenarbeiten, und die Internationale Energieagentur IEA, an deren Vorhaben sich das ISE mit maßgeblicher Koordinierungsarbeit beteiligt. Darüber hinaus partizipiert das Institut an zahlreichen EU-Projekten, vor allem im Rahmen der Programme JOULE und THERMIE.

3.5. Lehrtätigkeit und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses

Im Institut arbeiten gegenwärtig 49 Diplomanden und 39 Doktoranden aus unterschiedlichen Hochschulen in Deutschland sowie einige Postdoktoranden aus ausländischen Universitäten. Insgesamt 7 Wissenschaftler des ISE sind in Lehrveranstaltungen an Universitäten, Fachhochschulen und einem Berufskolleg eingebunden.

4. Weitere Entwicklung

In den nächsten Jahren soll das Basis-know-how in den Bereichen verstärkt werden, in denen eine Umsetzung der Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung mit der Industrie kurzfristig möglich ist. Ein wichtiges Thema ist beispielsweise die

intelligente Gebäudehülle, die rationelle Energienutzung mit optimaler Tageslichtnutzung kombiniert. Die Arbeiten im Bereich dezentraler Energieversorgungssysteme sollen für ihre Anwendung in netzfernen Gebieten stärker forciert werden (Kombination von Solarenergienutzung mit geeigneten Kogenerationssystemen wie z.B. Brennstoffzelle, elektrische Systeme).

B. Stellungnahme

Im Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme wird ein breites Spektrum von Forschungsarbeiten auf den Gebieten Solarthermie und Photovoltaik durchgeführt, die auf einem gut durchdachten und organisierten Forschungsprogramm beruhen. Die Forschungsstrategie des Instituts ist wissenschaftlich überzeugend und fußt auf einer realistischen Einschätzung der Marktsituation in den beiden Hauptarbeitsrichtungen solares und energieoptimierendes Bauen sowie dezentrale photovoltaische Stromerzeugung. Im Bereich Photovoltaik werden die zentralen Forschungsaufgaben unter Einschluß der notwendigen Speichersysteme bemerkenswert umfassend behandelt.

Die vielfach grundlagenorientierten Forschungsarbeiten, die eine große Anwendungsrelevanz besitzen, sind von hoher Qualität. Ein Beispiel dafür sind die Arbeiten auf dem Gebiet der Dünnschichtsysteme, im optischen Labor sowie im Bereich Solarthermie, bei denen das Institut mit führend in Europa ist. Die hochmotivierten Mitarbeiter des Instituts sind breit geschult und arbeiten sehr professionell. Sie können überwiegend auf eine gute Ausstattung zurückgreifen.

Das Institut leistet einen erheblichen Beitrag zur Ausbildung von Diplomanden und Doktoranden. Mit der Universität Freiburg, insbesondere dem Freiburger Materialforschungszentrum, und der Universität Karlsruhe besteht eine intensive Zusammenarbeit. Das Institut ist auf seinen Arbeitsgebieten in die einschlägigen BMBF- und EU-Projekte eingebunden und spielt eine bedeutende Rolle bei der Organisation von Netzwerken auf nationaler und europäischer Ebene. Hervorzuheben sind in diesem Zusammenhang die Beteiligung am Forschungsverbund Sonnenenergie,

in dessen Rahmen eine inhaltliche Abstimmung des Forschungsprogramms, wie z.B. bei der Entwicklung von Dünnschichtsolarzellen, stattfindet, sowie die Beteiligung und verantwortliche Koordinierung von Vorhaben der EUREC Agency und der Internationalen Energieagentur. Von den internationalen Aktivitäten des Instituts zeugen auch Projekte zur Implementation von Photovoltaik-Anlagen in Thailand sowie der Wissenschaftleraustausch mit Forschungseinrichtungen in Indonesien, Argentinien und Mexiko.

Bei der praktischen Umsetzung seiner Forschungsarbeiten steht das Institut in direktem Kontakt mit der Industrie. Beispiele sind die selektive Absorberentwicklung und der Bereich der Wärmeschutzverglasung, für den ein großer Markt in Deutschland besteht. Das Institut sollte prüfen, ob die Forschungsarbeiten nicht noch stärker auf Anwendungsbereiche konzentriert werden können, die sich mittelfristig wirtschaftlich erschließen lassen. Bestrebungen, die im ISE entwickelten Technologien, insbesondere hocheffiziente Solarzellen, auf der Grundlage einer zu erstellenden Marktrecherche stärker zu vermarkten, würden dadurch sinnvoll unterstützt.

Auf dem Gebiet der Solarzellenentwicklung ist noch ein erhebliches Maß an Grundlagenforschung zu leisten. Die einschlägigen Arbeiten des ISE weisen entsprechend eine hohe Grundlagenorientierung auf. Vor dem Hintergrund der im Vergleich zu anderen Forschungseinrichtungen niedrigen Grundfinanzierung sind daher weiterhin erhebliche Anstrengungen erforderlich, um durch das Einwerben von Drittmitteln den erforderlichen Anteil an grundlagenorientierten Arbeiten aufrecht erhalten zu können.

III.2. Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe

A. Ausgangslage

1. Gründung und Aufgaben

Das Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe, wurde 1972 mit der Aufgabenstellung gegründet, die naturwissenschaftlich-technisch orientierten Forschungs- und Entwicklungsarbeiten der Fraunhofer-Gesellschaft durch interdisziplinäre Analysen im Grenzbereich zwischen Technik, Wirtschaft und Gesellschaft zu erweitern.

2. Organisation und Ausstattung

2.1. Organisation

Das Institut gliedert sich in die sieben Fachabteilungen

- Innovationsdienstleistungen und Regionalentwicklung
- Technikbewertung und Innovationsstrategien
- Innovationen in der Biotechnologie
- Innovationen in der Produktion
- Informations- und Kommunikationssysteme
- Energietechnik und Energiepolitik
- Umwelttechnik und Umweltökonomie

Die Abteilung Energietechnik und Energiepolitik führt einmal jährlich eine Mittelfristplanung im Rahmen einer Klausurtagung durch, bei der die derzeitigen und mittelfristig zu verfolgenden Themenbereiche und Ziele erörtert werden. Die beschlossene Planung wird mit dem Institutsleitungsausschuß, einem in der Satzung der Fraunhofer-Gesellschaft vorgesehenen Gremium, besprochen und den wissenschaftlichen Mitarbeitern des Gesamtinstituts in einem Kolloquium

vorgelegt. Die Mitarbeiter sind in Akquisition und Leitung der Projekte selbständig, wobei innerhalb der Abteilung und gegebenenfalls auch institutsübergreifend eine Abstimmung erfolgt.

2.2. Haushalt und Personal

Der Haushalt des Instituts betrug 1996 16,6 Mio. DM, die zu etwa 18 % auf die Energieforschung entfielen. 20 % des Grundhaushaltes wurde im Rahmen der institutionellen Forschungsförderung von Bund und Ländern zur Verfügung gestellt (3,4 Mio. DM), 80 % wurden durch Forschungsaufträge eingeworben (13,2 Mio. DM). Die Personal- und Gemeinkosten des Instituts lagen 1996 bei 13,3 Mio. DM (inkl. Abschreibungen).

Der Grundzuschuß für die Abteilung Energietechnik und Energiepolitik betrug 1996 0,7 Mio. DM. Zusätzlich wurden 4,2 Mio. DM Drittmittel von Bund (1,6 Mio. DM), Land (0,4 Mio. DM), EU (0,3 Mio. DM), Industrie (1,3 Mio. DM) und anderen Institutionen (0,6 Mio. DM) eingeworben.

Ende 1996 waren am ISI 127 festangestellte Mitarbeiter und mehr als 80 studentische Hilfskräfte tätig. Im Bereich Energieforschung arbeiteten 20 Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen überwiegend mit ingenieur-, natur- oder wirtschaftswissenschaftlicher Ausbildung, davon 4 mit befristeten Stellen und 5 Doktoranden. Das Durchschnittsalter der wissenschaftlichen Mitarbeiter lag bei etwa 39 Jahren. Seit 1990 haben insgesamt 4 Wissenschaftler mit unbefristeten und zwei Mitarbeiter mit befristeten Stellen aus dem Forschungsbereich Energie zu einem anderen Arbeitgeber im wissenschaftlichen oder Dienstleistungsbereich gewechselt.

2.3. Infrastruktur und Serviceeinrichtungen

Das ISI verfügt über eine hauseigene Bibliothek, die an die Universitätsbibliothek Karlsruhe und das Fernleihnetz angeschlossen ist und auch eine spezielle Sammlung grauer Literatur im Bereich Energieforschung umfaßt. In der Abteilung Energietechnik und Energiepolitik werden alle wesentlichen energiestatistischen Veröf-

fentlichungen archiviert und nach Bedarf der Forschungsprojekte aufbereitet. Darüber hinaus hat die Abteilung die Datenbank IKARUS (Instrumente für Klimagasreduktionsstrategien) im Rahmen eines vom BMBF geförderten Forschungsvorhabens sowie die Datenbanken MURE (Mésures d'Utilisation Rationelle de l'Energie) und ODYSSEE (Online Database for Yearly Assessment of Energy Efficiency) im Rahmen von EU-Projekten mitentwickelt und nutzergerecht aufbereitet. Gegenwärtig wird eine Datenbank zum Energieverbrauch und seiner Struktur für den Bereich der europäischen Industrie aufgebaut, ebenfalls im Rahmen eines EU-geförderten Projekts. Die im Rahmen von Projekten erstellten Datenbanken sind frei zugänglich. Im Zusammenhang von Projektkooperationen können alle Infrastruktureinrichtungen auch von den Partnern genutzt werden. Darüber hinaus werden auf Anfrage Informationen an Dritte weitergegeben.

3. Wissenschaftliches Profil

3.1. Energiewissenschaftliche Tätigkeitsschwerpunkte, neue Entwicklungen

Aufgaben der Abteilung der Energietechnik und Energiepolitik sind Forschungs- und Umsetzungsprojekte zu einer effizienten Energienutzung und Anwendung der erneuerbaren Energiequellen mit dem Ziel der Ressourcenschonung sowie des Umwelt- und Klimaschutzes. Dazu werden technische und wirtschaftliche Analysen auf der Mikro- und Makroebene durchgeführt, die sich vor allem auf energieintensive Industriezweige, Bereiche der mittelständischen Industrie, Dienstleistungsbranchen, Querschnittstechnologien sowie branchenübergreifende energieintensive Prozesse konzentrieren. Zu den Arbeitsinhalten gehören weiterhin empirische Untersuchungen von Hemmnissen und Erfolgsbedingungen für die Umsetzung von Energie-Effizienzmaßnahmen, Analysen und Konzeptionen energiepolitischer Instrumente sowie Energiebedarfsprognosen und Wirkungsanalysen im Hinblick auf volkswirtschaftliche Größen. Die Arbeitsschwerpunkte der Abteilung umfassen drei Themengebiete:

Untersuchungen zur rationellen Energieverwendung und Nutzung erneuerbarer Energiequellen (etwa 40 % der Energieforschung am ISI):

- Erforschung technisch-wirtschaftlicher Potentiale der rationellen Energienutzung und erneuerbarer Energiequellen,
- Erhebung von Primärdaten zum Energiebedarf von Technologien in Industrie und Gewerbe sowie zum nichtenergetischen Verbrauch von Energierohstoffen (Herstellung petrochemisch basierter Grundchemikalien und ihrer Folgeprodukte),
- Erstellung von Energiesystem-Modellen zur Versorgungs- und Bedarfsseite, Energiebedarfsschätzungen und -szenarien sowie daraus abgeleitete Investitions- und Emissionsentwicklungen; kombinierte Modelle für ausgewählte Fragestellungen der Wirkungsforschung.

Energiewirtschaftliche Analysen (etwa 30 % der Energieforschung am ISI):

- Hemmnis- und Marktanalysen für energietechnische Produkte und neue Energiedienstleistungen,
- Energiewirtschaftliche Branchenanalysen, insbesondere für energieintensive Wirtschaftszweige, und Analysen zum industriellen Strukturwandel,
- Auswirkungen rationeller Energieanwendung und erneuerbarer Energiequellen auf Beschäftigung, Einkommen, Außenhandel, Wirtschaftsstruktur und Umwelt,
- Entwicklung, Erhebung, Interpretation und Bewertung von Energieeffizienz-Indikatoren auf regionaler, nationaler und internationaler Ebene,
- Transformation der LCP/DSM-Konzeption in umsetzbare Unternehmensstrategien durch Energie-Dienstleistungsangebote.

Energie- und Klimapolitik (etwa 30 % der Energieforschung am ISI):

- Empirische Forschung zu Hemmnissen, Marktdefiziten und Umsetzungsstrategien,
- Monitoring von Klimagasemissionen: Methodenentwicklung und -anwendung,
- Konzeption, wissenschaftliche Begleitung und Evaluation energiepolitischer Maßnahmen und FuE-Strategien im In- und Ausland,
- Energiepolitische Analysen und Konzepte in Osteuropa und in Entwicklungsländern.

3.2. Wichtige Forschungsergebnisse

Zu seinen wichtigsten Ergebnissen in der Energieforschung aus den letzten fünf Jahren zählt das ISI die Erkenntnisse,

- daß die wirtschaftlichen Energieeffizienzpotentiale sich in den nächsten Jahrzehnten trotz fortlaufender Realisierung nicht erschöpfen werden, weil durch technische Innovationen und Kostenreduktionen beständig neue rentable Effizienzpotentiale entstehen,
- daß in vielen Zielgruppen mehrere Hemmnisse rationeller Energieanwendung wirksam sind und deshalb Energiepolitik nur mit zielgruppen- und technikspezifischen Maßnahmenbündeln (und nicht mit Einzelmaßnahmen) erfolgreich sein kann,
- daß der inter- und intra-industrielle Strukturwandel zunehmend zur Verringerung der Energieintensität von Industrie und Gesamtwirtschaft beiträgt,
- daß positive Netto-Beschäftigungseffekte, Innovationsauswirkungen und Exportimpulse von einer verstärkten Energieeffizienzpolitik ausgehen werden,
- daß bis zum Jahr 2050 in Deutschland eine CO₂-Reduktion gegenüber 1987 um 80 % bei in etwa gleichbleibendem Anteil des durch die Energieversorgung gebundenen Anteils des Bruttosozialprodukts möglich ist.

3.3. Veröffentlichungen

Mitarbeiter der Abteilung Energietechnik und Energiepolitik haben in den Jahren 1994 bis 1996 insgesamt 11 Beiträge in begutachteten Zeitschriften, 4 Monographien, 16 Buchbeiträge und Proceedings, 28 Forschungsberichte sowie 12 sonstige Fachbeiträge veröffentlicht und insgesamt 61 Fachvorträge gehalten.

3.4. Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen

Die Abteilung erhält eine Vielzahl von Aufträgen aus Wirtschaft und Industrie, wobei derzeit die Energiedienstleistungskonzepte, die auf eine verbesserte Energienutzung bei den Kunden der Energiedienstleister abzielen, einen breiten Raum einnehmen. Hierzu werden technische Potential- und Marktanalysen, Kostenanalysen und Wettbewerbsrecherchen durchgeführt. Daneben verfolgt die Abteilung

eine Reihe von Forschungsprojekten gemeinsam mit Industrie- und Dienstleistungsunternehmen zu methodischen Fragen (z.B. Prognosemethoden) oder zu technologischen Entwicklungen.

Ein erheblicher Teil der größeren Projekte wird in Zusammenarbeit mit außeruniversitären und universitären Forschungseinrichtungen durchgeführt. Wichtige Partner in energiewirtschaftlichen und -politischen Fragen sind beispielsweise das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung, Berlin, und das Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung, Mannheim, sowie die Universitäten Oldenburg und Sussex. Auf technischen Gebieten bestehen Kooperationen mit den Universitäten Karlsruhe und Kassel, den Technischen Universitäten München und Utrecht sowie der Forschungsstelle für Energiewirtschaft, München und dem Energy Efficiency Enquiries Bureau in Großbritannien. Seit Mitte der 80er Jahre beteiligt sich die Abteilung an EU-Projekten. Es bestehen fest etablierte Kooperationen mit ausländischen Instituten, wobei teilweise auch ein Austausch von Gastwissenschaftlern stattfindet. Das ISI ist deutsches Mitglied des European Network of Energy Economics Research (ENER), einem von der Europäischen Kommission unterstützten Verbund von Energieforschungseinrichtungen in 12 Ländern der EU, die einen regelmäßigen Erfahrungsaustausch und gemeinsame Projekte durchführen.

3.5. Lehrtätigkeit und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses

Derzeit arbeiten im Bereich Energieforschung im ISI 5 Doktoranden, davon haben 3 einen FhG-Promotionsvertrag.

Drei Wissenschaftler bieten Vorlesungen und Seminare an der Universität Karlsruhe, der Gesamthochschule Kassel und der örtlichen Berufsakademie zur energiewirtschaftlichen und energiepolitischen Themen an.

4. Weitere Entwicklung

Die Aufgabenschwerpunkte des ISI im Bereich Energieforschung werden in etwa beibehalten werden. Neben energietechnischen und energiewirtschaftlichen Untersuchungen sollen vor allem die Bereiche Energie-Dienstleistungen sowie Analysen zu neuen klima- und energiepolitischen Instrumenten und Programmen verstärkt werden.

B. Stellungnahme

Durch seine sozialwissenschaftlichen Analysen im Grenzbereich zwischen Technik, Wirtschaft und Gesellschaft kommt dem ISI in Deutschland erhebliche technologiepolitische Bedeutung zu. Die Arbeiten der Abteilung Energietechnik und Energiepolitik, die etwa 18 % der Arbeiten des Instituts ausmachen, liegen überwiegend in den Kernbereichen rationelle Energieanwendung und Energiepolitik sowie Politikberatung.

In der Abteilung werden eine Reihe unterschiedlicher Fragestellungen aufgegriffen, die ein breites Spektrum abdecken, darunter Energiebedarfsschätzungen, Analysen von Hemmnissen und Erfolgsfaktoren für rationelle Energienutzung, Energiedienstleistungskonzepte sowie die Befassung mit energie- und klimapolitischen Maßnahmen einschließlich der Problematik der CO₂-Emissionen. Eine übergeordnete Strategie in der Wahl der Forschungsthemen und der verfolgten Ziele ist allerdings nicht klar zu erkennen. Die Abteilung sollte daher mittelfristig eigene Fragestellungen klar akzentuieren und eine stärkere Konturierung ihres Forschungsprofils anstreben.

Die systemanalytischen Arbeiten und das methodische Instrumentarium, die nach Angaben der Abteilung empirische Methoden wie Intensivgespräche mit Fachleuten, Breitenerhebungen sowie Betriebsbegehungen und -befragungen umfassen, sind für belastbare Aussagen nicht immer ausreichend. Die Abteilung sollte der methodischen Untermauerung der Forschungsarbeiten, der detaillierten Datenerfassung und der Plausibilitätskontrolle quantitativer Aussagen mehr Gewicht beimessen. Hierfür sollten die vorhandenen Kontakte zu Universitäten, aber auch der

Erfahrungsaustausch mit außeruniversitären Forschungseinrichtungen genutzt werden.

C.IV. Helmholtz-Gemeinschaft

IV.1. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

A. Ausgangslage

1. Gründung und Aufgaben

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. mit Sitz in Köln wurde 1969 gegründet. Es ist mit über 4.000 Mitarbeitern die größte ingenieurwissenschaftliche Forschungseinrichtung in Deutschland. Seit Mitte der 70er Jahre betreibt das DLR Energieforschung als eigenständigen Schwerpunkt, im Rahmen dessen vornehmlich am Standort Stuttgart, daneben auch in Köln und Göttingen, wobei Kompetenzen aus der Luft- und Raumfahrttechnik auch auf dem Gebiet stationärer Energieversorgungssysteme eingesetzt werden.

Die Aufgaben des Schwerpunktes Energietechnik sind:

- Optimierung der Verbrennung sowie Turbomaschinen für Kraftwerke mit starkem Bezug zur Antriebstechnik in der Luft- und Raumfahrt,
- Brennstoffzellentechnik für Traktion und die Bereitstellung von Kraft und Wärme,
- Solarkraftwerke des thermischen Typs,
- Entwicklung solarchemischer Verfahren.

2. Organisation und Ausstattung

2.1. Organisation

Seit 1989/90 gliedern sich Steuerung und Führungsstruktur des DLR in fachlich orientierte Institute und Einrichtungen einerseits und Programmschwerpunkte andererseits. Diese Matrixstruktur soll Synergien zwischen verschiedenen Kompetenzen und Programmen ermöglichen. Die Leitung der Schwerpunkte Luftfahrt, Raumfahrt und Energietechnik wurde drei Programmdirektoren übertragen.

Folgende Institute und wissenschaftliche Einrichtungen sind in den Schwerpunkt Energieforschung eingebunden:

- Institut für Technische Thermodynamik (EN-TT), Stuttgart und Lampoldshausen, mit den Abteilungen Elektrochemische Energie- und Speichertechnik, Solarthermische Energietechnik, Systemanalyse und Technikbewertung,
- Institut für Physikalische Chemie der Verbrennung (EN-CV), Stuttgart, mit der Abteilung Laserdiagnostik und den Gruppen Chemische Kinetik, Hochdruckflammen und Chemische Analytik,
- Institut für Antriebstechnik (EN-AT), Köln-Porz und Berlin, mit den Bereichen Fan- und Komponententechnologie, Numerische Simulation, Experimentelle Verbrennungstechnik und Brennkammermodellierung sowie Turbulenzforschung, Triebwerksforschung, Triebwerksmeßtechnik und Triebwerkssysteme,
- Hauptabteilung Solarenergietechnik (EN-SE, dem Programmdirektor Energietechnik unterstellt), Köln-Porz, mit den Bereichen Solarthermie, Solarchemie, Sonnenofen und Autonome Kleinsysteme,⁵⁰
- Hauptabteilung Plataforma Solar (EN-PS, dem Programmdirektor Energietechnik unterstellt), Almeria/Spanien.⁵¹

Darüber hinaus werden an folgenden Einrichtungen Fragen der Energieforschung behandelt:

- Institut für Werkstoff-Forschung, Köln-Porz,
- Institut für Bauweisen und Konstruktionsforschung, Stuttgart,
- Institut für Strömungsmechanik, Göttingen,
- Hauptabteilung Datenverarbeitung, Köln-Porz.

⁵⁰ Bis 31.12.1997 Hauptabteilung Energietechnik des Bereichs Managementdienste (MD-ET).

⁵¹ Bis 31.12.1997 mit dem Kürzel PSA dem Bereich Managementdienste zugeordnet.

Das Testzentrum für solarthermische Energietechnik PSA ist rechtlich ein Teil der spanischen Forschungsorganisation für Energie- und Umweltforschung CIEMAT und wird aufgrund eines bilateralen Vertrages zur Hälfte vom DLR verwaltet und finanziert. Das Testzentrum hat vier Abteilungen (Administration, Auswertung und Betrieb, Ingenieurdienstleistungen, Training und Ausbildung), deren Leiter dem Direktorium berichten, das aus Angehörigen beider Organisationen zusammengesetzt ist.⁵²

2.2. Haushalt und Personal

Von den rund 723 Mio. DM Gesamtausgaben des DLR 1996 entfielen ca. 7 % (rund 51 Mio. DM) auf Arbeiten in der Energieforschung. Im Zeitraum von 1992 bis 1995 betragen die Aufwendungen für alle Programme des Schwerpunktes Energietechnik ca. 265 Mio. DM. Die größten Haushalte haben die Institute für Technische Thermodynamik und Antriebstechnik. 1995 hat der Schwerpunkt Energietechnik ca. 30 Mio. DM Drittmittel eingeworben, darunter ca. 20 Mio. DM vom Bund und ca. 5 Mio. DM von den Ländern.

Im Schwerpunktbereich Energietechnik standen 1996 100 Planstellen zur Verfügung, die jeweils zur Hälfte mit Wissenschaftlern und nicht-wissenschaftlichem Personal besetzt waren. Mit Drittmitteln sind nach Personenjahren weitere 35 Wissenschaftler und 35 nicht-wissenschaftliche Mitarbeiter finanziert worden.

2.3. Infrastruktur und Serviceeinrichtungen

Größere Infrastruktureinrichtungen wie Anlagen (z.B. Sonnenofen, Parabolrinnen- spiegelanlage) oder Geräte und Meßstände (z.B. Laborprüfstände für Modellbrennkammern, Hochdruckbrennkammer-Prüfstände) können auch von anderen Einrichtungen genutzt werden. So stellt die Hauptabteilung Energietechnik im Rahmen einer Vereinbarung mit dem Ministerium für Wissenschaft und Forschung des Lan-

⁵² Der Vertrag wurde von deutscher Seite auf Wunsch des Bundesministers für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie zum Ende des Jahres 1998 gekündigt.

des NRW ihren Sonnenofen zur Nutzung durch Hochschulen und Forschungseinrichtungen zur Verfügung, die an der AG SOLAR beteiligt sind. Die Gruppe Laserdiagnostik des Instituts für Physikalische Chemie der Verbrennung führt im Auftrag Messungen auch bei externen Kunden durch. Die Hochdruckbrennkammer-Prüfstände des Instituts für Antriebstechnik sind zum Teil mit finanzieller Unterstützung einschlägiger Industriepartner errichtet worden. Das DLR beteiligt sich außerdem an mehreren internationalen Versuchsanlagen, so dem genannten Solartestfeld Plataforma Solar de Almeria in Spanien.

3. Wissenschaftliches Profil

3.1. Energiewissenschaftliche Tätigkeitsschwerpunkte, neue Entwicklungen

Im Rahmen ihres mittelfristig für die Jahre 1992 bis 1996 angelegten Programms Energietechnik wurden im DLR fünf Programme in zwölf Teilprogrammen verfolgt:

- Solarforschung (Teilprogramme: Solare Kraftwerks- und Systemtechnik, neue solarthermische und solarchemische Prozesse; bearbeitet wurden u.a. Techniken zum Farmkonzept mit Parabolrinnen, zum Turmkonzept mit Zentralreceiver, zum Dish-Konzept mit Stirling-Motor oder Turbine), ca. 32 % der Ressourcen für die Energieforschung entfielen auf dieses Programm;
- Rationelle und umweltschonende Energieumwandlung (Teilprogramme: Heizungstechnik, Kraftwerkstechnische Komponenten, Wasserstofftechnik; Schwerpunkte im Bereich der Stromerzeugung stellten die Gasturbinen- und Brennstoffzellentechnologien dar, bei der Wärmeerzeugung die Brennertechnologie und die Sorptionswärmepumpentechnik und im Bereich der Sekundärenergieträger die Elektrolysetechnik), ca. 27 %,
- Verbrennungsforschung (Teilprogramme: Laserdiagnostik, Flammeneigenschaften und -modelle; wesentliches Ziel ist die weitere Verbesserung von Umwandlungs-, insbesondere Verbrennungsverfahren zum effizienten und umweltschonenden Einsatz der Ressourcen), ca. 14 %,
- Laserforschung (Teilprogramme: Hochenergielaser, Industrielle Laseranwendung, Laser-Festkörpertechnologie), ca. 25 %,

- Management und Systemanalyse (Teilprogramme: Systemanalysen und Technologiebewertung, Management), ca. 2 %.

3.2. Wichtige Forschungsergebnisse

Als die bedeutendsten Ergebnisse in der Energieforschung aus den letzten fünf Jahren werden vom DLR genannt:

- Blaubrennervermarktung,
- Qualifikation des DLR-Plasmaspritzens bei der Brennstoffzellen-Industrie,
- Tests mehrerer Solarreceiver (offene und geschlossene volumetrische und solar-chemische Receiver) zur Demonstration des Zusammenwirkens wesentlicher Komponenten in Großanlagen,
- verbesserte Modelle der Verbrennungskinetik (die Arbeiten zur Chemischen Kinetik wurden fortgeführt, die Arbeiten zur Reaktion der aromatischen Kohlenwasserstoffe wurden im Hinblick auf den Rußbildungsmechanismus intensiviert),
- Beiträge zum Gesamtprojekt der Hochtemperatur-Gasturbine im Rahmen der AG TURBO,
- erfolgreicher Abschluß des HYSOLAR-Projektes, einer Kooperation mit Instituten der Universität Stuttgart und der King-Adulaziz-City-for-Science-and-Technology in Saudi-Arabien, im Jahre 1995 mit der Kopplung eines photovoltaischen Solarfeldes mit einem Elektrolyseur von 350 kW in Saudi-Arabien,
- Beiträge zur energiewissenschaftlichen Systemanalyse und Technologiebewertung.

3.3. Veröffentlichungen, Patente

Mitarbeiter des Schwerpunktes Energietechnik haben in den Jahren 1994 bis 1996 insgesamt 598 wissenschaftliche Beiträge publiziert, darunter 90 Artikel in begutachteten Zeitschriften, 132 Beiträge in begutachteten Konferenzberichten und 376 sonstige Publikationen. In den Jahren 1994 bis 1996 wurden 64 Patente angemeldet, davon sind 21 bereits erteilt.

3.4. Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Beteiligung an internationalen Forschungsprojekten

Ein enger Partner für das DLR auf dem Gebiet der Energieforschung ist die Universität Stuttgart. Beide sind neben der Arbeit an Verbundprojekten (u.a. HYSOLAR - solarer Wasserstoff, TECFLAM - Verbrennungsforschung, TECLAS - Lasertechnik) zusammen mit der Universität Ulm wissenschaftliche Gründungstifter des Zentrums für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg in Stuttgart und Ulm (ZSW). Neben diesen regionalen Partnerschaften ist die Arbeitsgruppe Solarenergie des Landes Nordrhein-Westfalen (AG SOLAR) von besonderer Bedeutung, die unter Nutzung des DLR-Hochflußdichte-Sonnenofens Grundlagen einer solaren Chemie untersucht.

Als strategisch bedeutsam werden von den Instituten des DLR die nationalen Verbände AG TURBO (Arbeitsgemeinschaft Hochtemperatur-Gasturbine), TECFLAM und FVS (Forschungsverbund Sonnenenergie) eingeschätzt. Neben der deutsch-spanischen Partnerschaft zwischen dem DLR und CIEMAT bei dem solarthermischen Testzentrum ist das DLR auf europäischer Ebene bei EUREC, einem Unternehmen nach EU-Unternehmensrecht mit etwa 70 Mitgliedern aus dem Bereich der Solarforschung, assoziiert. Im Rahmen der Internationalen Energie-Agentur (IEA) der OECD vertritt das DLR als Mitglied Deutschland auf dem Gebiet der solarthermischen Stromerzeugung und der Solarchemie bei SolarPACES (Solar Power and Chemical Energy Systems; Erfahrungsaustausch über alle die Solarthermie betreffenden Aspekte der Forschung und kommerziellen Umsetzung von Ergebnissen, Vergabe von Studien und anderen Gemeinschaftsaktivitäten).

3.5. Lehrtätigkeit und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses

Jährlich werden an den Einrichtungen des Schwerpunktes Energietechnik des DLR ca. 35 Diplom- und Studienarbeiten und etwa die gleiche Anzahl an Dissertationen betreut; besonders eng ist die Kooperation mit der Universität Stuttgart. Wissenschaftler des Instituts für Technische Thermodynamik sind außerdem am Sonder-

forschungsbereich 270 "Energieträger Wasserstoff" beteiligt, dessen Sprecherhochschule die Universität Stuttgart ist.

Eine Reihe von Wissenschaftlern hält an kooperierenden und anderen Einrichtungen Lehrveranstaltungen, u.a. in Ingenieurwissenschaften, Physikalischer Chemie und Betriebswirtschaftslehre.

4. Weitere Entwicklung

Das neue mittelfristig angelegte Programm Energietechnik (1997-2001) soll u.a. durch eine stärkere Ausrichtung der Aktivitäten der Verbrennungsforschung auf Anwendungen der Energie- und Antriebstechnik, die in ein Programm "Rationelle und umweltfreundliche Energieumwandlung" integriert werden, zu einer Straffung der Programmstruktur führen.

An die Stelle von Teilprogrammen sollen künftig verstärkt Projekte unter einem Projektleiter mit Ressourcenhoheit treten. Die Schwerpunktstruktur des DLR für die Jahre 1997-2001 hat danach folgendes Aussehen:

- Programm Solarforschung (Teilprogramme und Projekte: Solare Direktverdampfung in Parabolrinnen, Komponenten und Werkzeuge der Solarkraft, Solare Luftvorwärmung für Gasturbinen, Hybride Dish-Stirling-Technik, Solare Chemie und Materialforschung, Testzentrum Plataforma Solar de Almeria);
- Programm Rationelle und umweltfreundliche Energieumwandlung (Teilprogramme: Gasturbinen- und Brennkammertechnik, Brenner- und Sorptionstechnik, Entwurfsgrundlagen der Verbrennungstechnik, Elektrochemische Energietechnik mit zwei Projekten);
- Programm Laserforschung (Teilprogramme: Industrieanwendung, Gas- und Festkörperlaser mit dem Projekt COIL, Optische Halbleiterlaser);
- Programm Management und Systemanalyse (Leitung des Schwerpunktes Energietechnik, Teilprogramm: Systemanalyse und Technologiebewertung).

B. Stellungnahme

Energieforschung ergänzt seit Ende der 70er Jahre die luft- und raumfahrtbezogenen Kernarbeitsbereiche des DLR. Die Forschungen konzentrieren sich heute in den Bereichen Solarthermie und -chemie, Kraftwerkstechnik und Verbrennungsforschung sowie Elektrochemie auf Gebiete mit engem Bezug zur Luft- und Raumfahrttechnik, die von den Schwerpunkten anderer Einrichtungen der Helmholtz-Gemeinschaft klar abgegrenzt sind.

Der Austausch zwischen der Erforschung von Energie- und Antriebssystemen für die Luft- und Raumfahrt und der Weiterentwicklung von Systemen für die stationäre Energieversorgung hat sich für beide Anwendungsbereiche als außerordentlich fruchtbar erwiesen und zu bedeutenden Fortentwicklungen, z.B. auf dem Gebiet der Kraftwerkstechnik, der Brennstoffzellen, der Hochtemperaturwärmespeicher und -übertrager und der Solartechnik geführt. Das für die kommenden Jahre gewählte Leitthema der umwelt- und klimaschonenden Stromerzeugung fokussiert die Arbeiten in der Verbrennungsforschung, auf elektrochemischem und solarthermischem Gebiet auf aktuelle und besonders für die stationäre Energiewandlung relevante Fragestellungen, bei denen die Erkenntnisse aus der Luft- und Raumfahrtforschung bedeutende Impulse geben können.

Hervorzuheben ist der konsequente Anwendungsbezug der Forschungsarbeiten des DLR. Dieser spiegelt sich nicht zuletzt in der aktiven Mitarbeit in übergreifenden Forschungsverbänden z.B. in den Bereichen Verbrennungsforschung (TECFLAM) oder Gasturbinen (AG TURBO) wider, in die das DLR wichtige grundlagenorientierte Kompetenzen einbringt. Positiv zu bewerten ist in diesem Zusammenhang auch die Beteiligung des DLR am Betrieb des Testzentrums Plataforma Solar in Almeria. Die Nutzung der dort vorhandenen Test- und Demonstrationsanlagen hat dazu beigetragen, die Entwicklungen des DLR auf dem Gebiet der solaren Kraftwerkstechnik in Kooperation mit Industriepartnern zur Anwendungsreife zu führen und dadurch die internationale Wettbewerbsposition der europäischen solarthermischen Energietechnik zu festigen. Der Zugang des DLR zu einer Einrichtung, in der konzentrierende Komponenten und Systeme für die Solarthermie getestet werden

können, sollte auch künftig durch eine angemessene Finanzierung gewährleistet werden.

Die Arbeiten der einzelnen Institute fügen sich gut in die institutsübergreifende Programmatik des DLR ein. Wesentlich befördert wird die Schwerpunktsetzung durch die Matrixstruktur des DLR, die eine Fokussierung der Forschungsarbeit der einzelnen Institute auf die übergreifende Programmatik garantiert und somit eine konsequente Nutzung von Synergieeffekten ermöglicht. Von großer Relevanz ist dabei das Forschungsmanagement des DLR, das regelmäßige externe Überprüfungen auf Institutebene in Kombination mit Programmevaluationen vorsieht und dadurch entscheidend zur Erreichung und Fortentwicklung der Programmziele beiträgt.

Der Zusammenarbeit des DLR mit der Universität Stuttgart kommt angesichts der dort betriebenen vielfältigen Energieforschung eine besondere Bedeutung zu. Enge Kooperationsbeziehungen bestehen bereits auf dem Gebiet der Verbrennungsforschung, die durch eine gemeinsame Berufung weiter gefestigt werden sollen. Die in der Verbrennungsforschung gelungene beispielhafte Kooperation einer Einrichtung der Helmholtz-Gemeinschaft mit einer Hochschule sollte jedoch auf weitere Themenfelder ausgedehnt werden. Der Wissenschaftsrat unterstützt in diesem Zusammenhang das Vorhaben des DLR, sich an einem von der Universität Stuttgart geplanten Sonderforschungsbereich auf dem Gebiet der Brennstoffzellen zu beteiligen. Eine solche Kooperation ist die Basis für eine arbeitsteilige Schwerpunktbildung von Großforschungseinrichtungen zusammen mit Hochschulen im Sinne seiner früheren Empfehlungen.⁵³

⁵³ Wissenschaftsrat: Empfehlungen zur Zusammenarbeit von Großforschungseinrichtungen und Hochschulen, Köln 1991, S. 83-84.

IV.2. Forschungszentrum Jülich (FZJ)

A. Ausgangslage

1. Gründung und Aufgaben

Das Forschungszentrum Jülich GmbH wurde 1956 unter der Bezeichnung "Kernforschungsanlage Jülich (KFA)" vom Land Nordrhein-Westfalen als gemeinsames Kernforschungszentrum der Hochschulen des Landes gegründet. Seit 1968 ist die Bundesrepublik Deutschland Hauptgesellschafter. 1990 wurde der Name der Einrichtung in "Forschungszentrum Jülich" geändert. Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sind in den fünf Forschungsschwerpunkten Struktur der Materie und Materialforschung, Informationstechnik, Lebenswissenschaften, Umweltvorsorgeforschung und Energietechnik zusammengefaßt. Die Aufgaben des Forschungszentrums Jülich liegen auf Gebieten der technischen Entwicklung und der Grundlagenforschung.

Der energietechnische Bereich war in der Vergangenheit umfassenden programmatischen und strukturellen Änderungen unterworfen. Insbesondere seit 1986 ist der Forschungsschwerpunkt Energietechnik auf die nichtnukleare Energieforschung ausgerichtet. Die auf die Entwicklung von Kernreaktoren bezogenen Arbeiten wurden stark reduziert zugunsten einer Konzentration auf nukleare und nichtnukleare Sicherheitsaspekte und auf nukleare Entsorgung sowie der Neuorientierung auf die Bereiche Brennstoffzelle, Katalyse und Photovoltaik.

2. Organisation und Ausstattung

2.1. Organisation

Das Forschungszentrum Jülich besitzt als Leitungsgremien Gesellschafterversammlung, Aufsichtsrat, Vorstand und Wissenschaftlich-Technischen Rat (WTR). Das FuE-Programm wird jährlich vom WTR und seiner Hauptkommission beraten. Als Bewertungsgremien gibt es Wissenschaftliche Beiräte für verschiedene Institute

(z.B. IFF, ISI, IKP), Beiräte für Programme (z.B. Umweltforschung, Materialforschung) sowie den Wissenschaftlichen Rat des Höchstleistungsrechenzentrums und den Beirat aus der Industrie. Insgesamt bestehen derzeit am Forschungszentrum Jülich 38 Institute (organisiert in 13 Departments), 7 Zentralabteilungen, 3 Programmgruppen und 4 Projektträger. Spezielle Arbeitsgebiete werden in Projekten koordiniert (Brennstoffzelle, Kernfusion).

Der Forschungsschwerpunkt Energietechnik dient der Verbesserung in Anwendung befindlicher und der Entwicklung neuer Energieumwandlungssysteme mit den Zielen Umweltfreundlichkeit und Ressourcenschonung und ist in fünf Programme (Stand: 1996) mit 11 Instituten und Zentralabteilungen unterteilt:

Energieumwandlungstechniken (EUT):

- Institut für Energieverfahrenstechnik (IEV)⁵⁴
- Institut für Schicht- und Ionentechnik, Abteilung Photovoltaik (ISI-PV)

Exploration und Gewinnung fossiler Brennstoffe (EGF)⁵⁵:

- Institut für Erdöl und organische Geochemie (ICG-4)

Sicherheitsforschung, Reaktortechnik und Nukleare Entsorgung (SRE):

- Institut für Sicherheitsforschung und Reaktortechnik (ISR)
- Zentralabteilung Forschungsreaktoren und kerntechnische Betriebe (ZFK)
- Abteilung Sicherheit und Strahlenschutz (ASS)

Kernfusion und Plasmaforschung (KFP):

- Institut für Plasmaphysik (IPP)

⁵⁴ Zum 1.7.1998 mit dem IWE zu einem Department Institut für Werkstoffe und

Verfahren der Energietechnik zusammengeführt.

⁵⁵ Seit 1997 ist das EGF dem Forschungsschwerpunkt Umweltvorsorgeforschung zugeordnet.

Werkstoffe der Energietechnik (WET):

- Institut für Werkstoffe der Energietechnik (IWE)⁵⁶
- Institut für Festkörperforschung (IFF)
- Zentralabteilung Technologie (ZAT)
- Zentralabteilung Chemische Analysen (ZCH)

2.2. Haushalt und Personal

Das Forschungszentrum Jülich erhält 90 % seiner Grundfinanzierung vom Bund und 10 % vom Land Nordrhein-Westfalen. Das Gesamtvolumen des Zuwendungshaushaltes betrug im Jahr 1996 rund 464 Mio. DM (ohne Drittmittel). Die Aufwendungen für die Energieforschung machten davon knapp ein Viertel (112 Mio. DM) aus, darunter entfielen 79 Mio. DM auf Personalkosten, 6 Mio. DM auf Verbrauchsmittel und 6 Mio. DM auf Investitionen. Die größten Haushalte entfallen auf die Programme SRE (32 Mio. DM), KFP (30 Mio. DM) und WET (27 Mio. DM). 1996 wurden vom Forschungsschwerpunkt Energietechnik insgesamt Drittmittel in Höhe von rund 29 Mio. DM eingeworben, darunter je 11 Mio. DM vom Bund und der EU sowie 5 Mio. DM aus der Industrie.

Am Forschungszentrum Jülich sind insgesamt rund 4.500 Mitarbeiter tätig, davon etwa 1.000 Wissenschaftler sowie 430 Doktoranden. Hinzu kommen 400 Gastwissenschaftler pro Jahr. Im Forschungsschwerpunkt Energietechnik waren 1996 insgesamt 460 Mitarbeiter tätig, davon 174 Wissenschaftler. 35 Wissenschaftler wurden aus Drittmitteln finanziert. Von den 139 Wissenschaftlern auf Planstellen sind 43 (31 %) dem Programm KFP, und jeweils 35 (25 %) dem Programm SRE bzw. WET zugeordnet. 23 Wissenschaftler hatten einen befristeten Anstellungsvertrag. Außerdem waren 1996 im Forschungsschwerpunkt Energieforschung 80 Doktoranden und 7 HGF-Nachwuchswissenschaftler tätig. Der Altersdurchschnitt der Wissenschaftler (ohne Doktoranden) liegt bei 48 Jahren. In den letzten fünf Jahren

⁵⁶ Zum 1.7.1998 mit dem IEV zu einem Department Institut für Werkstoffe und Verfahren der Energietechnik zusammengeführt.

haben insgesamt 14 Wissenschaftler einen Ruf erhalten, insbesondere an die RWTH Aachen, Universität Bochum sowie an die Fachhochschule Aachen.

2.3. Infrastruktur und Serviceeinrichtungen

Im Forschungsschwerpunkt Energietechnik werden zentrale Infrastruktureinrichtungen des Forschungszentrums Jülich wie Großrechner, Heiße Zellen, Forschungsreaktor DIDO, Photovoltaik-Wasserstoff-Brennstoffzellenanlage PHOEBUS, Langpuls-Tokamak TEXTOR-94, Jülicher Divertor Testanlage JUDITH, Zentrale Analytik und Werkstätten sowie allgemeine Technologie genutzt. Des Weiteren verfügen die einzelnen Institute über verschiedene Labore und Versuchsstände (u.a. NACOK, SANA, SEAT), die auch anderen Instituten zur Verfügung stehen.

Die Infrastruktureinrichtungen werden auch von externen nationalen und internationalen Partnern genutzt. Die umfangreichen Experimentiermöglichkeiten werden von Hochschulen insbesondere im Rahmen von Verbundforschung und Sonderforschungsbereichen in Anspruch genommen. Die Anlage NOKO (Projekt "Not-Kondensator") wird innerhalb eines Experimentalprogrammes und eines EU-Projektes unter Beteiligung von industriellen Partnern und internationalen Forschungseinrichtungen genutzt. Der Langpuls-Tokamak TEXTOR-94 stellt ferner die zentrale Forschungsanlage des Trilateralen Euregio Clusters dar, auf die auch die Partnerländern des "IEA-TEXTOR Implementing Agreement" (Japan, USA, Kanada, Schweiz) zugreifen können.

3. Wissenschaftliches Profil

3.1. Energiewissenschaftliche Tätigkeitsschwerpunkte

In den einzelnen Programmen des Forschungsschwerpunkts Energietechnik bestehen folgende Arbeitsschwerpunkte:

Im Programm EUT werden Verfahren zur Umwandlung fossiler und regenerativer Primärenergieträger sowie von Sekundärenergieträgern bearbeitet. Schwerpunkte

sind die Entwicklung von Hochtemperatur- (SOFC) und Niedertemperatur-Brennstoffzellen (PEMFC) für den mobilen und stationären Einsatz, elektrochemische Energiespeicher, katalytische Verbrennung und Photovoltaik. Entwicklungen von Brennstoffzellen stehen dabei im Vordergrund.

Im Programm EGF werden die Bildung, Umwandlung, Transport und Akkumulation der fossilen Energieträger Erdöl und Erdgas in sedimentären Systemen quantitativ erforscht.

Im Programm SRE werden die entscheidenden Einflußgrößen für Sicherheit und Risiko großtechnischer Systeme zur Energiegewinnung (insbesondere kerntechnische Anlagen), die Realisierbarkeit einer Reaktortechnik mit neuer Sicherheitsqualität sowie Sicherheitsaspekte der Konditionierung und Endlagerung radioaktiver Abfälle untersucht.

Im Rahmen des Programms KFP soll mit dem Langpuls-Tokamak TEXTOR-94 als Versuchsanlage die Datenbasis für das Fusionsprojekt International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER) vom Tokamak-Typ verbessert und das Stellarator-konzept W7-X in Greifswald unterstützt werden, um die Kernfusion zur langfristigen Sicherung der Energieversorgung zu nutzen. Schwerpunktmäßig wird das Problem der Plasma-Wand-Wechselwirkung untersucht.

Das Programm WET bündelt als Querschnittsaufgabe die Forschung und Entwicklung für neue, verbesserte Werkstoffe und Komponenten für SOFC, Fusionsanlagen sowie fortschrittliche thermische Kraftwerke.

3.2. Wichtige Forschungsergebnisse

Als bedeutende Ergebnisse des Forschungsschwerpunkts Energietechnik der vergangenen fünf Jahre wurden genannt:

- Entwicklung eines neuartigen Stackdesigns (Substrat-Konzept einschließlich Werkstoff- und Komponentenentwicklung) für SOFC zur Absenkung der Be-

- triebstemperatur von 950 EC auf 800 EC (bei gleicher Leistungsdichte) bei Betrieb mit Wasserstoff und Methan als Brenngas,
- Ganzjährige Versorgung der Bibliothek mit solar-erzeugter Energie der PHOEBUS-Anlage,
 - Erhöhung des Wirkungsgrades und Verminderung der Licht-alterung durch Verbesserung der optoelektronischen Eigenschaften von Solarzellen auf der Basis amorphen Siliziums,
 - Entwicklung von Sedimentbecken-Simulationsprogrammen (2D, 3D),
 - Nachweis der Funktionsfähigkeit passiver Sicherheitssysteme (Notkondensator, passive Impulsgeber),
 - Realisierbarkeit nicht-kernschmelzfähiger Reaktoren,
 - Wandbeschichtungen mit guter Plasmaverträglichkeit sowie Plasmabetrieb mit verbesserter Einschließung und reduzierter Wandbelastung (RI-Mode),
 - Entwicklung eines hochselektiven Extraktionsmittels zur Trennung von Americium und Curium von den Lanthaniden für die Transmutation.

3.3. Veröffentlichungen, Patente

Die Mitarbeiter des Forschungsschwerpunkts Energietechnik haben 1996 828 Publikationen veröffentlicht, davon 201 Artikel in begutachteten Zeitschriften sowie 214 als begutachtete Konferenzbeiträge. Im gleichen Jahr wurden 234 Patente angemeldet⁵⁷ (davon 50 Erstanmeldungen) sowie 52 Patente erteilt.

3.4. Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Beteiligung an internationalen Forschungsprojekten

Im Forschungsschwerpunkt Energietechnik bestehen vielfältige Kooperationsbeziehungen mit universitären und außeruniversitären Einrichtungen im In- und

⁵⁷ Im Programm KFP wurden aus Kostengründen und aufgrund der derzeitigen Anwendungsferne der fusionsorientierten Plasmaforschung bestehende Patente zurückgezogen und Neuanmeldungen nicht vorgenommen.

Ausland sowie mit Industrieunternehmen. Mit Hochschulen in Nordrhein-Westfalen ist das Forschungszentrum über gemeinsame Berufungen nach dem "Jülicher Modell" verbunden. Darüber hinaus gibt es durch die Einbindung in DFG-Schwerpunktprogramme Kooperationen mit weiteren deutschen Universitäten. Im Bereich der Solarenergie liegen Kooperationsvereinigungen mit den Universitäten Hagen, Essen und Duisburg zur Nutzung der PHOEBUS-Anlage vor. Das Forschungszentrum Jülich koordiniert ferner für das Land Nordrhein-Westfalen Fördervorhaben auf den Gebieten "Solarenergie" (AG Solar) und "Rationelle Energieverwendung". Mit den außeruniversitären Einrichtungen Hahn-Meitner-Institut in Berlin-Adlershof und Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme in Freiburg wird im Bereich der Photovoltaik zusammengearbeitet, des weiteren auf dem Gebiet der Werkstoff- und Komponentenentwicklung mit dem DLR in Köln, dem GKSS in Geesthacht, dem FZK in Karlsruhe, dem Max-Planck-Institut für Plasmaphysik in Garching und dem Fraunhofer-Institut für Silicatforschung in Würzburg. Vereinzelt bestehen auch Kooperationen im Rahmen von BMBF-Projekten. Im Rahmen der staatlichen Förderung von Forschungsprojekten des Bundes übernimmt das Forschungszentrum Jülich als Projektträger die Betreuung von Fördervorhaben aus Industrie und Hochschulen u.a. in dem Bereich "Biologie, Energie, Ökologie". Mit dem Bundesamt für Strahlenschutz gibt es seit 1985 einen Kooperationsvertrag zur Produktkontrolle an radioaktiven Abfällen.

Die Fusionsforschung an TEXTOR-94 findet im Rahmen des Trilateralen Euregio Clusters (TEC) (zusammengeschlossene Fusionsassoziationen im Dreiländereck Belgien, Niederlande, Deutschland) statt und ist eingebunden in das von der Europäischen Atomgemeinschaft EURATOM koordinierte europäische Fusionsprogramm, einschließlich des gemeinsamen Betriebs vom Gemeinschaftsprojekt Joint European Torus (JET) im englischen Culham. Das Institut für Sicherheitsforschung und Reaktortechnik ist deutsches Referenzlabor im aus insgesamt sieben europäischen Labors bestehenden Netzwerk "European Network of Testing Facilities for Quality Checking of Radioactive Waste Packages". Darüber hinaus ist der Forschungsschwerpunkt Energietechnik in verschiedene Förderprogramme der Europäischen Union eingebunden, u.a. zur Entwicklung invertierter mikrokristallin/-

amorpher Silicium-Tandemzellen und zur Untersuchung der Perspektiven organischer Solarzellen.

3.5. Lehrtätigkeit und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses

Im Rahmen des Jülicher Berufungsmodells sind die Institutsleiter gleichzeitig C4-Professoren an einer Hochschule des Landes Nordrhein-Westfalen mit reduzierten Lehrverpflichtungen. Enge Verbindungen bestehen insbesondere zur RWTH Aachen, Universität Bochum und Fachhochschule Aachen. Von 1994 bis 1996 wurden von Mitarbeitern im Forschungsschwerpunkt Energietechnik 133 Diplomarbeiten, 101 Dissertationen und 4 Habilitationen abgeschlossen. Es wird ferner im Graduiertenkolleg "Hochtemperatur-Plasmaphysik" der Universität Düsseldorf mitgearbeitet sowie im Sonderforschungsbereich 191 "Physikalische Grundlagen der Niedertemperaturplasmen" der Universität Bochum und im Sonderforschungsbereich 370 "Integrative Werkstoffmodellierung" der RWTH Aachen. Es werden auch Beiträge zur Sommerschule über Regenerative Energien des Solarinstituts Jülich der Fachhochschule Aachen sowie zum gemeinsamen Ferienpraktikum der Institute Schicht- und Ionentechnik/Grenzflächenforschung und Vakuumphysik geleistet. Darüber hinaus führt das Institut für Plasmaphysik gemeinsam mit seinen TEC-Partnern die in Abständen von zwei Jahren stattfindende 14tägige "Carolus Magnus Summer School on Plasma Physics" (60-80 Teilnehmer) durch.

4. Weitere Entwicklung

Vom Jahr 1999 an wird ein Teil der Kapazität im Fusionsprogramm KFP zugunsten des Stellaratorprojektes W7-X in Greifswald reduziert. Der Experimentierbetrieb mit TEXTOR-94 soll bei der voraussichtlichen Inbetriebnahme von W7-X etwa im Jahr 2006 beendet werden. Nach dem Vorbild des Trilateralen Euregio Clusters TEC ist danach die Konzentration auf wenige Großexperimente zur Fusion geplant.

Das unter Beteiligung der Institute IEV und IWE im Juli 1998 gegründete Energie-Department soll Fragen der Energieforschung unter übergreifenden Gesichtspunkten untersuchen, wobei die Systementwicklung mit der Materialentwicklung und den entsprechenden Herstellungs- und Verarbeitungstechnologien verknüpft wird.

Zu wesentlichen Perspektiven künftiger Tätigkeit gehören die Risiken großtechnischer Systeme zur Energiegewinnung (insbesondere kerntechnischer Anlagen). Auf dem Gebiet sicherheitstechnischer Bewertungsverfahren sollen besondere Kompetenzfelder die Bewertung passiver Sicherheitssysteme und die Anwendung probabilistischer Methoden in nicht-nuklearen Bereichen mit Erarbeitung von Nutzen/Aufwand-optimierten Vorgehensweisen sein. Ferner sollen Arbeiten zu Kernreaktoren mit neuer Sicherheitsqualität durchgeführt werden. Weiterhin werden nukleare Entsorgung mit minimalen Rückstandsmengen, der Rückbau stillgelegter Kernreaktoren, Wasserstoffbeseitigung bei Störfällen und die Weiterentwicklung von Techniken zur nuklearen Entsorgung bearbeitet.

Das Jülicher Brennstoffzellenkonzept soll zur Anwendungsreife fortgeführt werden. Die Führungsposition der Werkstoffentwicklung für SOFC soll ausgebaut und gefestigt werden.

Die Entwicklung der Silicium-Dünnschichtsolarzelle zu höheren Wirkungsgraden wird in Kooperation mit der Industrie fortgesetzt.

Die Energie- und Umweltforschung verbindende Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung wird künftig für die Energieforschung eine wachsende Bedeutung erhalten.

B. Stellungnahme

Die ursprünglich auf die Entwicklung von Kernreaktoren ausgerichteten Aktivitäten des Forschungszentrums Jülich konzentrieren sich in der Energieforschung nunmehr auf nukleare und nichtnukleare Sicherheitsaspekte und nukleare Entsorgung und haben sich des weiteren erfolgreich auf die Bereiche Brennstoffzelle, Katalyse und Photovoltaik umorientiert. Die im Forschungsschwerpunkt Energietechnik mit einer ausgezeichneten meß- und anlagentechnischen Ausstattung durchgeführten Arbeiten beeindrucken insgesamt durch ihre sehr gute Qualität. Es werden aktuelle Forschungsthemen auf hohem wissenschaftlichen Niveau verfolgt, was durch

zahlreiche Publikationen in internationalen Fachzeitschriften dokumentiert wird. Auffallend hoch ist auch die Zahl der angemeldeten (1996: 234) und erteilten (1996: 52) Patente. Hervorzuheben ist die vielfache Einbindung in nationale und internationale Forschungsprojekte, wobei auch Koordinierungsaufgaben übernommen werden.

Die im Projekt Brennstoffzelle durchgeführten Werkstoff-arbeiten zur Hochtemperatur-Brennstoffzelle für die stationäre Energieerzeugung haben innerhalb kurzer Zeit einen hohen international anerkannten Standard erreicht. Hervorzuheben ist das anodengestützte Substratzellen-Konzept, für das der Machbarkeitsnachweis erbracht wurde. Durch dieses neue Zellendesign konnte die Betriebstemperatur ohne Leistungsverlust um 200 EC gesenkt werden. Des weiteren überzeugen die zukunftssträchtigen Niedertemperatur-Brennstoffzellensysteme mit Methanol, die beim Brennstoffzellen-Auto angewendet werden können.

Im Bereich der Photovoltaik handelt es sich bei den Forschungen zum amorphen Silicium um eine zukunftssträchtige, ausbaufähige Technologie. Gegenüber Wafer-Technologien besitzt das amorphe Silicium wie alle Dünnschichttechnologien den Vorteil eines deutlichen Kostensenkungspotentials. Es ergeben sich vielfältige Anwendungsmöglichkeiten, da sich die dünnen Filme auf unterschiedlichen Material (u.a. Glas, Plastikfolien, Stahlplatten) abscheiden lassen. Ferner können große Flächen beschichtet und Schichtpakete hergestellt werden. Hervorzuheben sind die Forschungen zur Stapel-Zelle (Tandem-Zelle), die einen stabilen Wirkungsgrad von rund 10 % besitzt. Die durchgeführten Arbeiten sind insgesamt qualitativ gut und ergänzen ausgezeichnet bestehende Schwerpunkte in Deutschland. Die Arbeiten sind international anerkannt.

Die im Programm Sicherheitsforschung, Reaktortechnik, Nukleare Entsorgung verfolgten wichtigen Arbeiten zu störfallbedingten Risiken großtechnischer System sowie zur Sicherheitsforschung für kerntechnische Anlagen sind von hohem internationalem Niveau. Beeindruckend sind die Jülicher Beiträge zum modularen Kugelhaufen-Hochtemperaturreaktor, der die Realisierung eines nichtschmelzenden Kerns und die Rückhaltung der Spaltprodukte innerhalb der Brennelemente

ermöglicht. Es wäre wünschenswert, wenn die hervorragenden Arbeiten im Bereich der Sicherheitsforschung für kerntechnische Anlagen künftig stärker gefördert werden würden. Die Zusammenarbeit mit osteuropäischen Staaten auf dem Gebiet der Sicherheitstechnik sollte verstärkt werden. Ferner sollte im Bereich der Arbeiten zur Transmutation die Möglichkeit der engeren Zusammenarbeit mit dem Europäischen Kernforschungszentrum CERN geprüft werden.

Es ist zu begrüßen, daß sich das Forschungszentrum Jülich mit dem Langpuls-Tokamak TEXTOR-94 als Versuchsanlage maßgeblich am Europäischen Fusionsprogramm beteiligt. Die im Rahmen des Trilateralen Euregio Clusters (TEC) stattfindende Kooperation mit Belgien und den Niederlanden ergänzt die Kooperation mit den USA und Japan. Das Jülicher Fusionsprogramm hat sich mit der Untersuchung der Plasma-Wand-Wechselwirkung (u.a. Physik der Plasma-Randschicht, Wärmeübertragung vom Plasma zur Wand, Erosion/Redeposition) auf ein konzeptübergreifendes und interdisziplinäres Schlüsselproblem konzentriert. Die aufgestellten innovativen Konzepte (z.B. Wandbeschichtung und Strahlungskühlung der Randschicht, Abfuhr der HeliumAsche) und die Entwicklung von Meßverfahren haben den Fortschritt auf dem Gebiet der Fusion wesentlich gefördert. Die Entwicklung eines Dynamischen Ergodischen Divertors, der mittels Verwirbelung der magnetischen Topologie als steuerbares "Ventil" für den Transport der Teilchen und der Energie aus dem Randbereich des Plasmas eingesetzt werden soll, verspricht ein wichtiges offenes Problem auf dem Weg zur Realisierung eines Fusionsreaktors zu lösen. Die in Jülich entwickelten und gebauten Testanlagen für höchste Wärmelast, thermomechanische Belastbarkeit, Strahlenschäden und Korrosion und die Beschichtungsanlage sind wichtige Beiträge zum Werkstoffprogramm, das als Basis für die Entwicklung von Plasmareaktoren essentiell ist.

Aufgrund des Jülicher-Modells bestehen besonders zu Hochschulen in Nordrhein-Westfalen enge Beziehungen, die sich positiv auf die Forschungsarbeiten und die Beteiligung von Doktoranden und Nachwuchswissenschaftlern an Forschungsprojekten auswirkt. Die intensive Zusammenarbeit mit der RWTH Aachen ist in diesem Zusammenhang hervorzuheben. Das Forschungszentrum Jülich hat in den vergangenen Jahren versucht, den starken Abbau der Personalstellen durch eine conse-

quente Nachwuchsförderung auszugleichen. Der Wissenschaftsrat unterstützt diese Bemühungen nachdrücklich und sieht darin einen geeigneten Weg, die Altersstruktur günstig zu beeinflussen.

IV.3. Forschungszentrum Karlsruhe (FZK)

A. Ausgangslage

1. Gründung und Aufgaben

Das Forschungszentrum Karlsruhe GmbH wurde 1956 als "Kernreaktor Bau- und Betriebsgesellschaft" gegründet. Es wird zu 90 % von der Bundesrepublik Deutschland und zu 10 % vom Land Baden-Württemberg finanziert. Seit 1995 trägt die Einrichtung die Bezeichnung "Forschungszentrum Karlsruhe" (FZK) und ist Mitglied der Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren. Die Entwicklung der Kernenergietechnik als Gründungsaufgabe ist in ein breiter angelegtes Aufgabenspektrum übergegangen. Das Forschungsprogramm des Zentrums konzentriert sich heute vor allem auf die Bereiche Umwelt, Energie, Mikrosystemtechnik/Medizintechnik sowie naturwissenschaftliche Grundlagenforschung zur Beantwortung teilchen- und astrophysikalischer Fragen und zum Verhalten von Materie bei extrem hohen Drücken und Temperaturen.

2. Organisation und Ausstattung

2.1. Organisation

Der Geschäftsbereich Forschung gliedert sich in die vier Vorstandsbereiche Umweltforschung, Energieforschung, Neue Technologien und Grundlagenforschung sowie kaufmännisch-administrative Angelegenheiten, hinzu kommt der Geschäftsbereich Stilllegung nuklearer Anlagen. Der Vorstand untersteht dem Aufsichtsrat und der Gesellschafterversammlung; seine Arbeit wird von einem Wissenschaftlich-Technischen Rat begleitet.

Der Vorstandsbereich Energieforschung umfaßt die fünf Institute Angewandte Thermo- und Fluidodynamik, Nukleare Entsorgungstechnik, Neutronenphysik und Reaktortechnik, Reaktorsicherheit sowie Technische Physik, die beiden Projekte Kernfusion und Nukleare Sicherheitsforschung sowie die drei Bereiche Projekt-

trägerschaft Entsorgung, Hauptabteilung Versuchstechnik und Koordination Energieforschung.

Schwerpunktsetzung, Planung, Gestaltung und Bewertung der Forschungsarbeit des FZK vollziehen sich innerhalb der auf vier Jahre angelegten mittelfristigen Programmplanung (Programmbudget) und der jährlichen Forschungsplanung (FuE-Programm) im Rahmen der von den Gesellschaftern Bund und Land Baden-Württemberg und dem Aufsichtsrat wahrgenommenen Globalsteuerung. Bei der langfristigen Aufgabendefinition und Schwerpunktsetzung werden neben Vorstand und Wissenschaftlich-Technischem Rat auch externe Beratungsgremien für einzelne Programmteile oder das Gesamtprogramm eingesetzt. Die einzelnen Forschungsvorhaben des FZK werden in einer Reihe von Fachgremien, Instituts- und Projektbeiräten, in der Regel mit externer Beteiligung, bewertet. Der Aufsichtsrat führt alle vier Jahre eine übergeordnete Bewertung zusammenhängender Forschungsschwerpunkte durch.

2.2. Haushalt und Personal

Das Gesamtvolumen des Zuwendungshaushaltes des Forschungszentrums Karlsruhe betrug im Jahr 1996 426 Mio. DM (ohne Drittmittel). Die Aufwendungen für die Energieforschung beliefen sich 1996 auf 164 Mio. DM (einschließlich 30,9 Mio. Drittmittel), davon entfielen 53 Mio. DM auf Personalkosten, 23 Mio. DM auf Sachmittel und 13 Mio. DM auf Investitionen sowie 75 Mio. DM auf Overhead-Kosten. Es wurden Drittmittel von der EU (21,9 Mio. DM), der Industrie (5,5 Mio. DM) und dem Bund (3,5 Mio. DM) eingeworben.

Zum 31.12.1996 waren am Forschungszentrum Karlsruhe insgesamt 3101 Mitarbeiter tätig, davon 627 Wissenschaftler. Dazu kam Annexpersonal (Gastwissenschaftler, Nachwuchswissenschaftler, Doktoranden, Hilfskräfte etc.) Der Altersdurchschnitt der Wissenschaftler lag bei 48 Jahren. Im Bereich Energieforschung waren insgesamt 464 Mitarbeiter beschäftigt, davon 203 Wissenschaftler. 43 Wissenschaftler wurden aus Drittmitteln finanziert. Von den 160 Wissenschaftlern auf Planstellen hatten 4 einen befristeten Anstellungsvertrag. Der Altersdurchschnitt bei

den Wissenschaftlern im Planstellenbereich lag bei 53 Jahren, im Drittmittelbereich bei 40 Jahren. In den letzten 5 Jahren haben insgesamt 9 Wissenschaftler einen Ruf erhalten, davon 8 von inländischen Universitäten und ein Wissenschaftler von einer amerikanischen Universität.

2.3. Infrastruktur und Serviceeinrichtungen

Als Infrastruktureinrichtungen der Energieforschung werden vom Forschungszentrum die "Heißen Zellen" mit dem speziell eingerichteten Fusionskeramiklabor HVT-HZ angeführt, das zentrale Tritiumlabor HVT-TLK sowie Laboreinrichtungen zur Behandlung von Transuranelementen und anderer Radionuklide unter Einschluß von Kernbrennstoffen. Die vorhandenen experimentellen Möglichkeiten stehen im Rahmen von Kooperationen mit Universitäten und anderen Forschungseinrichtungen auch externen Nutzern zur Verfügung.

3. Wissenschaftliches Profil

3.1. Energiewissenschaftliche Tätigkeitsschwerpunkte

Der Forschungsbereich Energie ist im Sinne der Vorsorgeforschung und der anwendungsorientierten industriellen Vorlauforschung auf Beiträge zu nachhaltigen Entwicklungen für eine diversitäre Energieversorgung ausgerichtet. Dazu gehören die interdisziplinären Arbeitsschwerpunkte Nukleare Sicherheitsforschung, Nukleare Entsorgung, Kernfusion und Supraleitung.

Im Arbeitsschwerpunkt Nukleare Sicherheitsforschung sind die Arbeiten auf die Etablierung einer neuen Qualität der Sicherheitsstandards bei zukünftigen Leichtwasserreaktoren ausgerichtet, die sich aus den erhöhten Sicherheitsanforderungen für zukünftige Kernkraftwerke ableitet (Artikelgesetz 1994). Die Abstimmung der Forschungsthemen und die Förderung der Arbeiten erfolgt im Rahmen von Kooperationsvereinbarungen mit der Industrie und mit Partnern der Europäischen Union. Im Vordergrund steht das deutsch-französische Gemeinschaftsprojekt "European Pressurized Water Reactor" (EPR).

Im Mittelpunkt der Nuklearen Entsorgung steht die Sicherheitsforschung zur Endlagerung hochradioaktiver Abfälle. Die Untersuchungen umfassen die Weiterentwicklung und Optimierung von Endlagerkonzepten mit spezieller Ausrichtung auf die Wirksamkeit des Multibarriereneinschlusses der radioaktiven Stoffe.

Im Bereich Nukleare Entsorgung ist auf die innovative Weiterentwicklung der Ver-
glasungstechnik für die endlagergerechte Entsorgung des flüssigen hochradio-
aktiven Abfalls der stillgelegten Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe sowie die
Entwicklung von Methoden zur Langzeitsicherheitsanalyse von Endlagern zu ver-
weisen.

Im Zusammenhang des weltweiten ITER-Programms für die Kernfusion leistet das
Forschungszentrum Karlsruhe Entwicklungsarbeiten zur Technologie des
Fusionsreaktors, insbesondere zum Blanket und zu den Magnetspulen sowie zur
Plasmaheizung (Gyrotron) und zur Tritiumhandhabung. Im Rahmen des geplanten
Stellaratorexperiments Wendelstein 7 X in Greifswald übernimmt das Zentrum die
Weiterentwicklung der Heiztechnik für einen W7-X-Dauerbetrieb und wird darüber
hinaus verantwortlich die Gesamtanlage zur Elektronen-Zyklotron-
Resonanzheizung in das Projekt einbringen.

Entwicklungsziel des Arbeitsschwerpunktes Supraleitung ist die Nutzung der kon-
ventionellen und der Hochtemperatur-Supraleiter für technische Anwendungen. Die
konkreten Aufgabenfelder reichen von der Bearbeitung physikalischer Grundlagen
der Supraleitung über deren Anwendung in der Energieversorgung, der Elektronik
und der physikalischen Apparatetechnik bis hin zur Entwicklung großer supralei-
tender Magnete für die Kernfusion.

3.2. Wichtige Forschungsergebnisse

Im Sinne der Atomgesetznovelle von 1994, die für zukünftige Kernkraftwerke eine
erweiterte Risikovorsorge für den Fall eines schweren Reaktorunfalles mit Kern-
schmelze fordert, ist eine Datenbasis für ein unfallresistentes DWR-Containment
erarbeitet worden, die als Basis für die kooperative Weiterentwicklung der Sicher-

heitstechnik für den Europäischen Druckwasserreaktor dient. Dies gilt insbesondere für die schweren Unfallphänomene Wasserstoff- und Kernschmelzverhalten im Containment sowie in-vessel Dampfexplosion und deren Auswirkungen auf die Integrität des Reaktordruckbehälters.

Besondere Fortschritte wurden in der Verglasungstechnik für hochradioaktiven flüssigen Abfall erzielt, die an der Prototypverglasungsanlage in aktivem Betrieb demonstriert werden.

In der Kernfusion wurden für den Bau von ITER Mikrowellenröhren (Gyrotrons) zur Plasmaheizung sowie supraleitende Komponenten und Spulen für den Plasmaeinschluß entwickelt. Darüber hinaus wurde ein Blanketkonzept mit keramischem Brutmaterial und Helium-Kühlung ausgearbeitet. Weitere Ergebnisse sind die Entwicklung eines niedrig-aktivierenden Stahls und der sichere Betrieb des Tritiumlabors Karlsruhe einschließlich der nahezu voll-ständigen Rückgewinnung von Tritium aus stark verun-reinigtem Plasmaabgas.

Im Arbeitsschwerpunkt Supraleitung ist die Entwicklung eines dynamischen supraleitenden magnetischen Energiespeichers zur Verbesserung der Netzqualität zu nennen sowie die Entwicklung eines speziellen Hochtemperatur-Supraleiter-Bandkabels.

3.3. Veröffentlichungen, Patente

Die Mitarbeiter des Bereichs Energieforschung haben in den Jahren 1994 bis 1996 insgesamt 493 Veröffentlichungen in begutachteten Zeitschriften und 437 begutachtete Konferenzbeiträge sowie 463 weitere Publikationen veröffentlicht. Im gleichen Zeitraum sind 25 Patente angemeldet worden, davon wurden bislang 15 erteilt.

3.4. Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Beteiligung an internationalen Forschungsprojekten

Die Entwicklung des europäischen Druckwasserreaktors erfolgt im Rahmen eines deutsch-französischen Gemeinschaftsprojekts in Zusammenarbeit mit Forschungseinrichtungen, Industriepartnern und Energieversorgungsunternehmen. Die Abstimmung der EPR-relevanten Forschungs- und Entwicklungsarbeiten geschieht in regelmäßig stattfindenden Projektratssitzungen.

Alle Arbeiten im Bereich Kernfusion erfolgen im Rahmen des Europäischen Fusionsprogramms. Für den Entwurf von ITER liefert die Industrie umfangreiche Beiträge; zur Koordination der Planungsarbeiten wurde ein Konsortium führender Anlagenbauunternehmen gegründet. Das Forschungszentrum arbeitet mit der Industrie in einer Reihe von Projekten zusammen. Dazu gehören die Konzeption von Brutblankets und die Herstellung von keramischem Brutmaterial, die Herstellung von Supraleitern und der ITER-TF-Modellspule sowie die Kryopumpen- und die Gyrotrotenentwicklung.

Im Schwerpunkt Supraleitung erfolgen die Entwicklungsarbeiten zum Schwungradenergiespeicher in enger Zusammenarbeit mit der Industrie und der Universität Stuttgart.

Die Besetzung von Institutsleiterstellen am Forschungszentrum erfolgte teilweise in Form gemeinsamer Berufungen mit der Universität Karlsruhe. Es bestehen vielfältige Kooperationsbeziehungen mit Universitätsinstituten und Forschungseinrichtungen im In- und Ausland sowie Industrieunternehmen.

3.5. Lehrtätigkeit und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses

Die Ausbildung und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses wird vom Forschungszentrum in enger Kooperation mit der Universität Karlsruhe wahrgenommen. Wissenschaftler des Bereichs Energieforschung haben im Studienjahr 1996/97 eine große Zahl von Lehrveranstaltungen überwiegend an der Universität

Karlsruhe abgehalten; es wurden 37 Diplomarbeiten, 42 Dissertationen und drei Habilitationsschriften betreut. Darüber hinaus arbeiten die Institutsleiter an den beiden Graduiertenkollegs "Energie- und Umwelttechnik" sowie "Supraleitung" der Universität Karlsruhe mit.

4. Weitere Entwicklung

Der Bereich Energieforschung des Forschungszentrums Karlsruhe sieht für die kommenden Jahre folgende Entwicklungsperspektiven:

- Die Reaktorsicherheitsforschung werde sich weiterhin intensiv mit Fragen nach dem Verhalten des in der Entwicklung befindlichen deutsch-französischen Druckwasserreaktors im Falle eines Kernschmelzunfalls befassen. Falls es zu einem standortunabhängigen atomrechtlichen Genehmigungsverfahren komme, bedürften die dann erforderlichen Nachweise einer experimentellen Absicherung. Darüber hinaus werden eigenständige Untersuchungen zu innovativen Aspekten neuer Reaktorentwürfe durchgeführt.
- Die Fortsetzung der Arbeiten zur nuklearen Entsorgungstechnik sowie die Beschäftigung mit dem Konzept der Actinidentransmutation mit dem Ziel einer Verminderung des Gefährdungspotentials der radioaktiven Abfälle wird für eine wissenschaftlich fundierte Sicherheitsanalyse als unerlässlich betrachtet (auch wenn derzeit die Wiederaufarbeitungstechnik in Deutschland nicht weiter verfolgt wird).
- Unabhängig von der Zukunft des Einsatzes von Kernenergie sollen die Arbeiten zur Endlagerung radioaktiven Abfalls fortgesetzt werden.
- Auf dem Gebiet der Fusionsreakorttechnologie ergeben sich künftige Perspektiven im Rahmen der europäischen Beiträge zum ITER-Projekt und durch die Beteiligung des Forschungszentrums am Stellaratorprojekt Wendelstein 7 X.

- Falls es die finanziellen Mittel zulassen, werden die Arbeiten auf einigen nicht nuklearen Gebieten erweitert (Nutzung der Supraleitung für die Speicherung elektrischer Energie, Entwicklung von supraleitenden Komponenten für die Energieübertragung).

B. Stellungnahme

Das Forschungszentrum Karlsruhe ist als Großforschungseinrichtung mit Schwerpunkt in der Reaktorforschung gegründet worden. Dieser Schwerpunkt war bis Ende der 80er Jahre bestimmend. Aufgrund des mangelnden politischen Konsenses für die Nutzung der Kernenergie mit der Folge der Einstellung der Arbeiten zur Wiederaufbereitungsanlage Wackersdorf ist der Anteil der Arbeiten zur Kernspaltung von einst 70 auf jetzt 18 % zurückgenommen worden.

Die verbleibenden Arbeiten sind im Sinne der Atomgesetznovelle von 1994 auf die Bereiche nukleare Sicherheitsforschung und nukleare Entsorgung ausgerichtet, darüber hinaus werden Forschungsarbeiten auf den Gebieten Kernfusion und zur Supraleitung durchgeführt. Die Forschungsarbeiten sind von hoher Qualität. Das Forschungszentrum nimmt auf diesen Gebieten eine führende Stellung ein und spielt eine tragende Rolle in der europäischen und internationalen Forschungskooperation. Von besonderer Bedeutung sind dabei die Arbeiten zur Entwicklung des Europäischen Druckwasserreaktors einschließlich der begleitenden Sicherheitsforschung, die im Rahmen eines deutsch-französischen Gemeinschaftsprojekts mit Industriepartnern durchgeführt werden.

Auf die Weiterentwicklung der Verglasungstechnik für die endlagergerechte Entsorgung flüssigen hochradioaktiven Abfalls kann nicht verzichtet werden. Weitere Forschungsarbeiten zur langfristigen Sicherung anderer Möglichkeiten der Endlagerung radioaktiven Abfalls sind notwendig.

Die am Forschungszentrum traditionell betriebenen kerntechnischen Forschungsarbeiten stellen einen wichtigen Bereich der wissenschaftlichen Kompetenz dar.

Nicht zuletzt aufgrund des hohen apparativen Aufwandes überschreiten sie die Möglichkeiten einer Universität. Sie sollten nach Auffassung des Wissenschaftsrates im Interesse des Kompetenzerhaltes in der kerntechnischen Forschung unbedingt weiter verfolgt und gefördert werden. Dies gilt insbesondere für die in Betrieb befindlichen Kernreaktoren. Die sicherheitstechnische Vorsorgeforschung ist nicht nur für deutsche Anlagen, sondern insbesondere auch für die in Osteuropa laufenden Anlagen von besonderer Bedeutung. Das FZK sollte die entsprechenden Arbeiten aufrechterhalten, da hier in der Vergangenheit dazu ein wesentliches Know-how erarbeitet wurde, das entsprechend dem Stand von Wissenschaft und Technik weiterentwickelt werden muß. Auch für die Entsorgung von nuklearem Material sind weitere Forschungsarbeiten notwendig, nicht zuletzt um langfristig Alternativen zu den bestehenden Entsorgungskonzepten zu entwickeln und zu erproben.

Es ist zu begrüßen, daß sich das Forschungszentrum maßgeblich am Europäischen Fusionsprogramm sowie am Werkstoffentwicklungsprogramm beteiligt. Die Entwicklungsarbeiten zu supraleitenden Magnetkomponenten für Fusionsanlagen haben eine hohe Relevanz für die Forschung zur Kernfusion. Wichtige Beiträge werden auch zur Plasmaheizung und zur Tritiumtechnologie erbracht. Für das europäische Blanketprojekt hat das FZK die Projektleitung erhalten.

Die enge institutionelle Kooperation mit der Universität Karlsruhe, die unter anderem in der Besetzung von Lehrstühlen an beiden Einrichtungen in Personalunion zum Ausdruck kommt, wirkt sich positiv auf die Forschungsarbeiten und Beteiligung von Doktoranden und Nachwuchswissenschaftlern an Forschungsprojekten aus. Das Forschungszentrum hat in den letzten Jahren versucht, durch eine systematische Nachwuchsförderung den Abbau von Personalstellen auszugleichen und die schwierige Altersstruktur günstig zu beeinflussen. Diese Bemühungen sind nachdrücklich zu unterstützen.

IV.4. Hahn-Meitner-Institut (HMI), Berlin

A. Ausgangslage

1. Gründung und Aufgaben

Das Hahn-Meitner-Institut (HMI) wurde 1959 als eine Einrichtung des Landes Berlin gegründet. Seine ursprüngliche Aufgabe war die Forschung auf den Gebieten Kernphysik, Kernchemie und Mathematik. 1970 erhielt das Institut den Status einer Großforschungseinrichtung. Heute ist das HMI Mitglied der Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF) und wird zu 90 % vom Bund und zu 10 % vom Land Berlin finanziert.

Aufgabe des Hahn-Meitner-Instituts ist es, naturwissenschaftliche Grundlagenforschung und anwendungsorientierte Forschung auf dem Gebiet der Festkörper- und Materialforschung durchzuführen und die dafür notwendigen Forschungsanlagen zu betreiben. Thematische Schwerpunkte sind die Strukturforschung (Struktur und Dynamik kondensierter Materie) und die Solarenergieforschung. Methodische Schwerpunkte werden durch den Forschungsreaktor BER II und die Beschleunigeranlage des IonenstrahlLABors ISL gesetzt.

2. Organisation und Ausstattung

2.1. Organisation

Das Institut hat die Rechtsform einer GmbH. Organe und Gremien der Gesellschaft sind die Gesellschafterversammlung, der Aufsichtsrat, der Wissenschaftliche Beirat, der Wissenschaftlich-Technische Rat und die Geschäftsführung. Das HMI gliedert sich in die fünf wissenschaftlichen Bereiche Theoretische Physik, Angewandte Physik, Festkörperphysik, Physikalische Chemie und Strukturforschung sowie Zentrale Wissenschaftlich-Technische Infrastruktur, Zentralabteilungen und Zentralverwaltung. Die programmatischen und die organisatorischen Strukturen stimmen nicht immer überein. Aus historischen Gründen und aufgrund von Neu-

berufungen für neu ausgerichtete Arbeitsgebiete ist die Solarenergieforschung derzeit auf vier Bereiche verteilt.

Entscheidungen über die Definition und Koordination der Forschungsprogramme sowie zur Ressourcenverteilung innerhalb eines Schwerpunkts trifft zunächst die jeweilige Schwerpunktkommission, die alle an dem Schwerpunkt mitarbeitenden leitenden Wissenschaftler umfaßt. Die Schwerpunktsprecher und die Geschäftsführer gehören einem Strategiekreis an, der über Fragen von grundsätzlicher Bedeutung, insbesondere der F&E-Programme und Mittelzuweisungen, berät und beschließt. Diese Beschlüsse müssen dem Wissenschaftlich-Technischen Rat vorgelegt werden.

Die Ergebnisse der Forschungsarbeiten werden jährlich in einem Ergebnisbericht projektbezogen zusammengestellt, anhand dessen ein Vorschlag für die Weiterführung erarbeitet wird. Alle vier Jahre findet eine externe Bewertung durch den Wissenschaftlichen Beirat statt. Das Ergebnis ist Grundlage für eine Entscheidung über die Weiterführung und Beendigung von Arbeiten.

2.2. Haushalt und Personal

Von den Gesamtaufwendungen des HMI von 124,5 Mio. DM im Jahr 1996 entfiel etwa ein Viertel (31,5 Mio. DM) auf Vorhaben in der Energieforschung; davon wurden 10,2 Mio. DM für Personalkosten, 9,9 Mio. DM für Verbrauchskosten und 8,2 Mio. DM für Investitionen verausgabt. Ergänzend zur institutionellen Förderung von 28,3 Mio. DM wurden 3,2 Mio. DM Drittmittel fast ausschließlich vom BMBF eingeworben.

Ende 1996 waren am HMI nach Personenjahren 715 Mitarbeiter beschäftigt, davon 293 Wissenschaftler, von denen mehr als die Hälfte einen befristeten Anstellungsvertrag hatte. Die Zahl der Mitarbeiter im Bereich Energieforschung belief sich auf 111, davon 78 Wissenschaftler, von denen 45 befristet beschäftigt waren. 15 Wissenschaftler wurden über Drittmittel finanziert. Seit 1993 haben drei Mitarbeiter

einen Ruf erhalten, zwei an eine deutsche und einer an eine ausländische Universität.

2.3. Infrastruktur und Serviceeinrichtungen

Die administrativ-technische Infrastruktur des Schwerpunkts Solarenergieforschung hat einen Umfang von 15,5 Personenjahren. Vereinbarungen für externe Nutzer der Labors der Solarenergieforschung gibt es zur Zeit noch nicht.

3. Wissenschaftliches Profil

3.1. Energiewissenschaftliche Tätigkeitsschwerpunkte

Thema des Forschungsschwerpunktes Solarenergieforschung ist die photovoltaische und in geringerem Umfang die photoelektrische Wandlung von Sonnenenergie. Die Arbeiten reichen von der angewandten Grundlagen- und Materialforschung bis zur Technologieentwicklung für neue Zellenstrukturen sowie Herstellungsverfahren für Solarzellen der nächsten und übernächsten Generation. Dabei konzentriert man sich auf die Entwicklung von Dünnschichttechnologien. Eines der wichtigsten längerfristigen Ziele ist es, die Möglichkeiten der Dünnschichttechnologie zur Entwicklung von Multispektralzellen (Tandemzellen) zu nutzen. Es werden vier zellenorientierte Forschungsvorhaben mit unterschiedlichen Zeitskalen betrieben:

Dünnschichtsolarzellen auf Silicium-Basis (27 % der Arbeiten zur Solarenergieforschung in Personenzahlen 1997)

Im Rahmen dieses Vorhabens sollen die wissenschaftlichen und technologischen Grundlagen für Dünnschichtsolarzellen aus polykristallinem Silicium (Korngrößen 30 bis 1.000 Nanometer) erarbeitet werden. Für die Zellenherstellung werden ausschließlich Niedertemperaturtechnologien (unter 550 EC) eingesetzt. Bei Ab-

sorberdicken von 2 bis 5 Mikrometer soll in einem Zeitraum von 4 Jahren ein Wirkungsgrad von mehr als 10 % auf einer Fläche von 2 x 2 cm² erreicht werden.

Hochabsorbierende Verbindungshalbleiter (33 % der Arbeiten zur Solarenergieforschung)

Ziel ist die Herstellung von Dünnschichtsolarzellen im Vorfeld großtechnischer industrieller Umsetzung. Dabei gilt es einerseits, Solarzellenkonfigurationen auf der Basis von Verbindungshalbleitern - Cu(In, Ga)(Se, S)₂ - für die nächste Generation von Dünnschichtsolarzellen weiterzuentwickeln, sowie andererseits längerfristig neue Materialsysteme zu identifizieren und innovative Zellenkonzepte zu entwerfen. Diese Arbeiten werden teilweise in Zusammenarbeit mit industriellen Partnern durchgeführt.

Photoelektrochemie und Photokatalyse (8 % der Arbeiten zur Solarenergieforschung)

Im Mittelpunkt steht seit vielen Jahren die Entwicklung "nasser" strom- und brennstoff erzeugender Solarzellen. Nach Auffassung des HMI können brennstoff erzeugende, elektrochemische Zellen in Verbindung mit geeigneten Brennstoffzellen zukunftsorientierte Lösungen für das Speicherproblem bei der photoelektrischen Energiewandlung bieten.

Injektionssolarzellen (11 % der Arbeiten zur Solarenergieforschung)

Primäres Ziel ist die Ermittlung der funktionellen und präparativen Anforderungen für den Bau einer stabilen Festkörper-Injektionssolarzelle mit über 10 % Konversionseffizienz sowie darauf aufbauend die Realisierung einer solchen Solarzelle im Labormaßstab. Das zweite Ziel ist die Aufklärung der Funktionsweise einer bereits an anderer Stelle entwickelten Farbstoff-Injektionssolarzelle.

Darüber hinaus werden begleitende Grundlagen- und Querschnittsaufgaben des Forschungsschwerpunktes Solarenergieforschung bearbeitet (21 %).

3.2. Wichtige Forschungsergebnisse

Unter den bezüglich ihres Erkenntnisgewinns und ihrer Verwertbarkeit wichtigsten Forschungsergebnisse des Schwerpunktes Solarenergieforschung werden für die einzelnen Vorhaben angegeben:

Solarzellen auf Silicium-Basis:

- die Realisierung von Homoepitaxie von Silicium mit einer Rate von etwa 30 Nanometer pro Minute bei einer Temperatur von 450 EC,
- das Erzielen von Wirkungsgraden von mehr als 14 % bei aus der Gasphase abgeschiedenen Emittlern aus μ -Silicium auf Cz-Si-Wafern,
- die Aufklärung der Diffusionsmechanismen von Wasserstoff in mikrokristallinem Silicium und der Rolle des Wasserstoffs als Strukturformer,
- die Herstellung atomar glatter Oberflächen auf Silicium-Wafern mit niedriger Oberflächenzustandsdichte durch naßchemische Prozeßschritte,
- die Realisierung von Heteroemitterzellen des Typs SIPOS(P)/c-Si(p) mit Wirkungsgraden bis fast 15 %.

Hochabsorbierende Verbindungshalbleiter:

- Innovationen bei der Materialentwicklung von Chalkopyritsolarzellen,
- die Entwicklung innovativer Dünnschichtverfahren,
- Fortschritte in der Materialforschung bei den Schichtgitter-Verbindungen,
- die Weiterentwicklung von photoelektrochemischen Oberflächenmodifizierungsverfahren.

Photoelektrochemie und Photokatalyse:

- die Entwicklung selektiver effizienter Cluster-Katalysatoren für Mehrelektronentransferprozesse bei der Energieumwandlung,
- Entwicklung eines Mechanismus zur Nutzung von Eisensulfid als chemischer Energiequelle für Schwefelbakterien,
- Entdeckung und theoretische Beschreibung des "selbstorganisierten Elektronentransfers" als Weg zur Entwicklung effizienter Katalysatoren.

Injektionssolarzellen:

- direkte Femtosekunden-Messung der Elektroneninjektionszeit am Heterokontakt von Farbstoff-Injektionszellen,
- Entwicklung eines Modells für Photospannung und Photostrom in der Farbstoff-Injektionszelle,
- Entwicklung und Bau des ersten Transfersystems für Halbleiteroberflächen aus einer MOCVD-Anlage in das Ultrahochvakuum ohne jede Kontamination,
- Entwicklung und Bau der ersten Apparatur, in der auch naßchemisch präparierte Heterokontakte im Ultrahochvakuum charakterisiert werden.

3.3. Veröffentlichungen, Patente

Mitarbeiter des Schwerpunkts Solarenergieforschung haben im Jahr 1996 insgesamt 185 Publikationen veröffentlicht, davon 97 Artikel in referierten Zeitschriften, 59 Konferenzberichte und 29 weitere Publikationen. Nachdem im Jahr 1995 drei Neuberufungen realisiert worden waren, belief sich die Zahl der Veröffentlichungen im Jahr 1997 auf insgesamt 190, davon 124 Artikel in referierten Zeitschriften und 41 Konferenzberichte. In den Jahren 1995 bis 1998 wurden 16 Patente angemeldet, für die der Antrag auf Prüfung bislang nicht gestellt wurde. Von dem Schwerpunkt Solarenergieforschung sind seit 1996 fünf Ausgründungen mit insgesamt 27 Mitarbeitern ausgegangen.

3.4. Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Beteiligung an internationalen Forschungsvorhaben

Das HMI arbeitet mit zahlreichen Partnern in Universitäten, außeruniversitären Forschungseinrichtungen und der Industrie im In- und Ausland zusammen und übernimmt dabei auch koordinierende Funktionen. Dies betrifft insbesondere den Forschungsverbund Sonnenenergie (FVS), der unter Federführung des HMI Anstrengungen unternahm, die Aktivitäten zu Dünnschichttechnologien für die Photovoltaik in einen Leitthema "Dünnschichtsolarzellen" zu koordinieren, sowie die Arbeitsgemeinschaft Solare Materialien (ASM) im Berliner Raum. Mit der Freien und der Technischen Universität Berlin bestehen Kooperationsverträge, die eine gemeinsa-

me Berufung der leitenden Wissenschaftler ermöglichen. Darüber hinaus hat das HMI verschiedene Industrieprojekte angeregt und die Rolle des Programmkoordinators übernommen. Es beteiligt sich an mehreren EU-Projekten, teilweise ebenfalls mit koordinierender Funktion. Eine enge Kooperation mit BESSY II wurde 1998 formal beschlossen.

3.5. Lehrtätigkeit und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses

Die leitenden Wissenschaftler des Schwerpunkts Solarenergieforschung halten Lehrverpflichtungen im Umfang von 2 bis 4 Semesterwochenstunden an den Berliner Universitäten ab. Auch weitere habilitierte Mitarbeiter beteiligen sich an der universitären Ausbildung. Insgesamt wurden 1997 25 Lehrveranstaltungen mit durchschnittlich je zwei Semesterwochenstunden in den Fächern Ingenieurwissenschaften, Materialwissenschaften, Physik, Chemie und Erneuerbare Energien durchgeführt. Im Jahr 1997 wurden in der Solarenergieforschung 3 Studien-, 15 Diplomarbeiten, 13 Dissertationen und eine Habilitationsschrift abgeschlossen.

4. Weitere Entwicklung

1995 wurde mit drei Berufungen eine neue programmatische Ausrichtung der Solarenergieforschung am HMI eingeleitet, die fortgesetzt werden soll. Längerfristig ist geplant, die Solarenergieforschung in ein Berliner Kompetenzfeld "Angewandte Halbleiterforschung" einzugliedern. Zudem wird sich die Solarenergieforschung an der engen inhaltlichen Kooperation mit BESSY II beteiligen und die Synchrotronstrahlung für Fragen der Grundlagenforschung der Photovoltaik verstärkt nutzen.

B. Stellungnahme

Die Umorientierung der ursprünglich auf die Kernenergieforschung ausgerichteten Arbeiten des HMI auf die Solarenergieforschung ist gut gelungen. In den vergangenen drei Jahren wurden durch Neuberufungen drei ausgewiesene Wissenschaftler gewonnen, durch die die positive Entwicklung maßgeblich geprägt wird. Im

Zentrum der Solarenergieforschung steht die Entwicklung effizienter und kostengünstiger Festkörper-Dünnschichtsolarzellen. Die mit einer modernen Ausstattung durchgeführten Forschungsarbeiten beeindrucken durch ihre, auch im internationalen Vergleich, gute Qualität. Es werden aktuelle Forschungsthemen auf hohem Niveau bearbeitet, was auch die steigende Anzahl der Publikationen in internationalen Fachzeitschriften und Konferenzberichten belegt, und ehrgeizige Ziele verfolgt. In den Arbeitsgruppen sind junge, kompetente und hochmotivierte Wissenschaftler tätig.

Die Vorhaben Dünnschichtsolarzellen auf Siliciumbasis und Hochabsorbierende Verbindungsleiter stellen besonders aussichtsreiche Bereiche dar. Sie zeichnen sich durch eine Reihe von Industriekontakten aus. Von hohem Anspruch sind auch die Arbeiten der Vorhaben Injektionssolarzellen sowie Photoelektrochemie und Photokatalyse, die weitgehend dem Bereich der Grundlagenforschung zuzuordnen sind. Die Arbeiten zu photoelektrochemischen und photokatalytischen Zellen sind auf einem in Deutschland nur schwach repräsentierten Forschungsgebiet angesiedelt, das auch im HMI - bezogen auf Thematik, Personaleinsatz und Qualität der Forschungsarbeiten - nicht im Zentrum der energiewissenschaftlichen Forschungsaktivitäten steht. Aufgrund seiner Bedeutung für die Grundlagenforschung könnte das Gebiet auch im Umfeld einer Universität bearbeitet werden. Hervorzuheben ist, daß aus diesem Arbeitsgebiet mehrere Ausgründungen hervorgegangen sind.

Die Einbindung in ein weitverzweigtes Netz von Kooperationspartnern aus Universitäten, außeruniversitären Forschungseinrichtungen und Industrieunternehmen auf regionaler, nationaler und europäischer Ebene ist beispielhaft. Hierfür stehen mehrere Projekte, die im Rahmen von Forschungsverbänden im Bereich der Dünnschichttechnologien durchgeführt werden. Es ist zu begrüßen, daß die Kooperation zwischen den einzelnen Vorhaben der Solarenergieforschung trotz der beträchtlichen Entfernung zwischen den beiden Standorten in Wannsee und Adlershof auf Arbeitsebene gut verläuft. Allerdings erscheint es wünschenswert, die Vernetzung auf der Ebene der leitenden Wissenschaftler noch stärker voranzutreiben.

Die Phase der programmatischen und organisatorischen Neuorientierung im HMI ist noch nicht abgeschlossen. Mittelfristig sollte die organisatorische Struktur des HMI an die programmatischen Schwerpunkte angepaßt werden.

Das HMI verfügt über eine im Vergleich zu anderen auf dem Gebiet der Solarenergieforschung tätigen Instituten gut bemessene Grundfinanzierung. Durch Berufungszusagen und Industriekontakte konnte eine exzellente Ausstattung realisiert werden. Bezogen auf die in der Solarenergie tätigen Wissenschaftler ist daher nach Auffassung des Wissenschaftsrates eine weitere Leistungssteigerung dringend notwendig. Um die für die Solarenergie zur Verfügung stehenden Finanzmittel transparent zu machen, sollte eine Zuordnung der Kosten zu Projekten angestrebt werden.

IV.5. Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP), Garching

A. Ausgangslage

1. Gründung und Aufgaben

Das Institut für Plasmaphysik wurde 1960 als gemeinnützige Gesellschaft mit beschränkter Haftung gegründet. Ab 1971 wurde die Einrichtung als Max-Planck-Institut für Plasmaphysik fortgeführt. Hauptsitz des Instituts, das auch der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren angehört, ist Garching bei München. 1992 wurde das IPP um eine Außenstelle in Berlin erweitert, 1994 wurde das Teilinstitut Greifswald gegründet. Aufgabe des Instituts ist die Erforschung der plasmaphysikalischen Grundlagen für die Entwicklung eines Kernfusionsreaktors.

2. Organisation und Ausstattung

2.1. Organisation

Das Institut ist in zehn wissenschaftliche Bereiche gegliedert. Vier von diesen befassen sich mit der experimentellen Plasmaphysik. Daneben existieren Untergliederungen für Tokamak-Physik, Technologie, Oberflächenphysik, Informatik und Stellarator-Theorie. Ein in Greifswald angesiedelter wissenschaftlicher Bereich ist zuständig für den im Aufbau befindlichen Stellarator Wendelstein 7-X. Unterstützt werden die wissenschaftlichen Arbeitseinheiten durch das Rechenzentrum Garching, die zentralen technischen Einrichtungen und die Verwaltung.

Die wissenschaftliche Leitung des Instituts besteht aus den ständig im Institut tätigen wissenschaftlichen Mitgliedern der Max-Planck-Gesellschaft mit Leitungsfunktion. Die laufenden Geschäfte des Instituts werden durch das Direktorium geführt, das aus einem wissenschaftlichen Direktor, zwei weiteren Mitgliedern der wissenschaftlichen Leitung sowie einem Geschäftsführer besteht. Die Aufsicht über das Institut führt ein Kuratorium, das mit dem Direktorium und der wissenschaftlichen Leitung das wissenschaftliche Programm und die daraus sich ergebenden Folgen

für den Haushaltsvoranschlag berät. Ein Fachbeirat aus externen Wissenschaftlern und Repräsentanten der Industrie berät das Institut in allen wissenschaftlichen Fragen.

2.2. Haushalt und Personal

Das Gesamtvolumen des Haushalts des IPP betrug 1996 153,4 Mio. DM. Dieser Betrag wird zu 100 % für Energieforschung verwandt. Rund 30 % des Haushaltsvolumens entfielen auf Investitionen. 1996 hat das Institut von der Europäischen Union 41 Mio. DM an Drittmitteln eingeworben, davon rund 33 Mio. DM für die Grundfinanzierung.

Das Institut verfügte Ende 1996 über 1.024 Mitarbeiter, davon 342 Wissenschaftler. 308 Wissenschaftler waren in Garching tätig, auf die Standorte Berlin und Greifswald entfielen 24 bzw. 10 Mitarbeiter. Das Durchschnittsalter der Wissenschaftler auf Planstellen (241) beträgt rund 49 Jahre. 130 Wissenschaftler (54 %) sind älter als 50 Jahre. Zwischen 1992 und 1996 sind acht Wissenschaftler an deutsche und ausländische Universitäten berufen worden. In drei Fällen handelt es sich um Doppelberufungen mit dem Institut.

2.3. Infrastruktur und Serviceeinrichtungen

Die zentralen technischen Einrichtungen dienen ausschließlich der Energieforschung. Aufgabe der technischen Einrichtungen sind insbesondere Konstruktion, Entwicklung und Fertigung von Geräten für die Experimente des IPP sowie der Betrieb der Versorgungsanlagen für Elektrizität, Heizwärme und Wasser/Kühlwasser. In geringem Umfang erfolgt eine Nutzung durch andere Einrichtungen wie z.B. die Technische Universität München.

Das Rechenzentrum Garching ist eine gemeinsame Einrichtung der Max-Planck-Gesellschaft und des Instituts mit Sitz in Garching. Es gehört zu den größten Höchstleistungsrechenzentren Deutschlands. Etwa die Hälfte der Rechenleistung wird durch das Institut in Anspruch genommen.

3. Wissenschaftliches Profil

3.1. Energiewissenschaftliche Tätigkeitsschwerpunkte

Die Fusionsforschung mit Magnetfeldeinschluß des Fusionsplasmas konzentriert sich gegenwärtig auf zwei verschiedene Experimenttypen, den Tokamak und den Stellarator. Beide werden im Max-Planck-Institut für Plasmaphysik untersucht. Der Tokamak ASDEX-Upgrade (Axialsymmetrisches Divertorexperiment) ging 1990 in Garching in Betrieb. Mit Hilfe dieser zur Zeit größten deutschen Fusionsanlage werden Grundfragen der Fusionsforschung unter kraftwerksähnlichen Bedingungen untersucht. Im Vordergrund stehen dabei die Annäherung an die erforderlichen Plasmamparameter Temperatur, Dichte und Einschlußzeit sowie die Auskopplung der Energie. Ziel ist die Vorbereitung des Baus eines internationalen Testreaktors (ITER, International Thermonuclear Experimental Reactor), der erstmals ein sich selbst erhaltendes und energielieferndes Plasma mit 1.500 Megawatt Leistungsabgabe erzeugen soll. Im Zuge der Vorbereitungen für ITER wird die Anlage zur Zeit umgebaut.

Im Gegensatz zu Tokamaks schließen Stellaratoren das Plasma in einem ausschließlich durch äußere Spulen erzeugten Feld ein und vermeiden so das Problem des möglichen Plasmaabbrisses. Der Untersuchung dieser Alternative zum Tokamak dient das Stellaratorexperiment Wendelstein 7-AS, das 1988 in Garching in Betrieb ging. Diese Experimentlinie soll in dem neugegründeten Teilinstitut in Greifswald weiter entwickelt werden. Dort wird seit 1997 eine vollständig optimierte größere Anlage Wendelstein 7 X aufgebaut, mit der die Kraftwerkstauglichkeit des Stellarators demonstriert werden soll. Das Stellaratorexperiment soll im Jahr 2005 beginnen.

3.2. Wichtige Forschungsergebnisse

Wichtige Beiträge des Instituts zur arbeitsteilig organisierten internationalen Fusionsforschung zwischen 1991 und 1996 sind die Weiterentwicklung des Divertors zur Energieauskopplung, der bei Tokamak-Apparaturen eingesetzt wird,

sowie die Entwicklung des Stellarators zu einem verbesserten toroidalen Einschlußkonzept.

Im einzelnen ist im Rahmen der Arbeiten an dem ASDEX-Upgrade-Konzept der Nachweis gelungen, daß es möglich ist, die Wärmeleistung aus dem Plasma über eine "strahlende Randschicht" auszukoppeln. Ausgehend von am Forschungszentrum Jülich erzielten Ergebnissen konnte an ASDEX Upgrade erstmals unter reaktorrelevanten Bedingungen gezeigt werden, daß durch gezielte Einbringung von Neonverunreinigungen in den Plasmarand über 90 Prozent der kinetischen Energie der Plasmateilchen als verwertbare Lichtstrahlung gleichmäßig auf den Wänden verteilt und dadurch der konzentrierte Einfall auf die Divertorplatten vermieden werden kann. Dabei konnten die guten Energieeinschlußeigenschaften des sogenannten H-Regimes bewahrt werden. Darüber hinaus wurden am ASDEX-Upgrade z.B. fortschrittliche Techniken zur Feedback-Plasmakontrolle entwickelt, die es ermöglichen, instabile Zustände des Plasmas zu vermeiden, die zu Plasmaabbrüchen führen können.

Die Arbeit an dem Stellarator Wendelstein 7-AS hat die Vorzüge des stromlosen Stellarators gegenüber dem Tokamak bestätigt. Die Eignung zum Dauerbetrieb wurde durch nettostromfreien Betrieb ohne Plasmaabrisse demonstriert. In Experimenten mit kombinierter Heizung (Neutralteilchen und Hochfrequenzheizung) konnten Elektronen- und Ionen-Temperaturen von ca. 15 Mio. Kelvin erreicht werden. Dies ist die höchste bisher in einem Stellarator gemessene Ionentemperatur. Durch Bedecken der Wände mit dünnen Schichten aus Kohlenstoff oder Bor konnten aus der Wand stammende Verunreinigungen stark verringert werden und Energieeinschlußzeiten von bis zu 40 Millisekunden erreicht werden.

Im Rahmen der vorbereitenden Forschung für den Stellarator Wendelstein 7 X wurden in detaillierten Berechnungen der Teilchenbahnen und Monte-Carlo-Rechnungen für die Neutralteilchen Größe und Lage der Prallplatten, Leitplatten und Kryopumpen für die Divertoreinheiten des Wendelstein 7 X bestimmt. Darüber hinaus wurden u.a. Entwicklungsarbeiten zu den supraleitenden Magnetspulen dieses Experiments durchgeführt.

In seit 1992 laufenden Studien zu einem Stellaratorkraftwerk nach dem Helias-Prinzip konnte gezeigt werden, daß die plasmaphysikalischen Bedingungen für die Zündung erfüllt werden, wenn die theoretischen Erwartungen in die Leistungsfähigkeit des Wendelstein 7X-Experiments durch die Ergebnisse bestätigt worden sind. Im Rahmen von Arbeiten zur Plasma-Wand-Wechselwirkung wurden Beiträge zur Physik der Zerstäubung geleistet und eine umfangreiche Datenbasis erstellt, die die für ein Fusionskraftwerk relevanten Elemente und Komponenten enthält. Darüber hinaus wurden z.B. eingehende Untersuchungen von Wolfram als Wandmaterial durchgeführt.

3.3. Veröffentlichungen, Patente

Die Mitarbeiter des Instituts haben 1996 267 Artikel veröffentlicht. Im gleichen Jahr wurden 2 Patente im In- und Ausland angemeldet.

3.4. Beteiligung an internationalen Forschungsprojekten, Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen

Das Institut ist Teil eines europäischen Forschungsverbunds, in dem die Fusionszentren der Europäischen Gemeinschaft und der Schweiz zusammengefaßt sind. Dieser Verbund wird durch die Europäische Atomgemeinschaft EURATOM koordiniert. Zusätzlich betreibt Europa seit 1983 ein gemeinsames Großexperiment, den Joint European Torus (JET) im englischen Culham. Das Institut ist hieran in verschiedener Weise beteiligt. Darüber hinaus arbeitet eine europäische Studien-Gruppe in Garching seit 1983 an Planungen für ein europäisches Nachfolgeexperiment zu JET, dem Next European Torus (NET). Ferner ist das Institut in die seit 1988 laufenden Vorbereitungen für den Internationalen thermonuklearen Experimentalreaktor (ITER) einbezogen. Der Konzeptentwurf, der die Grundlage für ein detailliertes technisches Design von ITER bildete, wurde am Institut erarbeitet.

In Deutschland arbeitet das Institut im Rahmen der Entwicklungsgemeinschaft Kernfusion mit dem Forschungszentrum Karlsruhe sowie mit dem Forschungszentrum Jülich zusammen. Während das IPP die plasmaphysikalischen Voraus-

setzungen für den Betrieb eines Fusionskraftwerks erarbeitet, konzentriert sich das Forschungszentrum Karlsruhe überwiegend auf die technologischen Entwicklungen, die für ITER bzw. NET und den zukünftigen Fusionsreaktor von Bedeutung sind. Das Forschungszentrum Jülich arbeitet sowohl auf plasmaphysikalischen als auch fusionstechnologischen Gebieten. Vielfältige Kooperationsbeziehungen bestehen auch mit Universitäten und Industrieunternehmen.

3.5. Lehrtätigkeit und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses

Fördermaßnahmen des IPP für den wissenschaftlichen Nachwuchs reichen von der Bereitstellung von Werkstudentenplätzen und Praktikumsmöglichkeiten für Studierende nach dem Vordiplom über die Vergabe und Betreuung von Diplom- und Doktorarbeiten bis hin zum Angebot eines umfassenden Graduiertenstudiums mit Seminaren, Kolloquien und Studienaufenthalten im Ausland sowie der Unterstützung bei der Habilitation. Jährlich werden etwa 12 Promotionen abgeschlossen. Zwischen 1990 und 1995 haben sich sechs wissenschaftliche Mitarbeiter des IPP habilitiert.

4. Weitere Entwicklung

Das Institut sieht sein langfristiges Programm als Teil des europäischen Fusionsprogramms. Auf dem Gebiet der Tokamaks strebt das Institut eine möglichst aktive Beteiligung am wissenschaftlichen Programm von ITER an. Bei einem außer-europäischen ITER-Standort strebt das IPP an, Zentrum der europäischen Beteiligung, insbesondere europäisches Kontrollzentrum, zu werden. In diesem Zusammenhang könnte nach Aussage des Institutes eine mittelgroße Apparatur zur Weiterentwicklung des Tokamak-Konzepts mit Standort in Garching erforderlich werden. Bau und Betrieb von Wendelstein 7 X werden nach Aussage des Institutes die Tätigkeit auf dem Stellarator-Gebiet in den nächsten 20 Jahren bestimmen. Ein Konzept für Aktivitäten des IPP auf dem Gebiet der fusionsorientierten Materialforschung wird zur Zeit erarbeitet.

B. Stellungnahme

Die Bundesrepublik hat sich bereits früh in der Förderung der Fusionsforschung engagiert. Fusionsforschung wird heute an mehreren deutschen Forschungseinrichtungen betrieben, von denen das Institut für Plasmaphysik die größte ist. (Vgl. hierzu auch Abschnitt A.III.2.2 "Kernfusion" sowie C.IV.2. Forschungszentrum Jülich sowie C.IV.3. Forschungszentrum Karlsruhe.) Das Institut für Plasmaphysik zählt zu den führenden Fusions-laboratorien in der Welt und nimmt in dem weltweit führenden europäischen Fusionsforschungsverbund, der von der Kommission der Europäischen Union moderiert wird, eine herausragende Stellung ein.

Der Wissenschaftsrat ist der Auffassung, daß die Arbeit des Instituts für Plasmaphysik für die langfristige Sicherung der Energieversorgung von großer Bedeutung ist und insbesondere auch angesichts der koordinierenden Rolle des Instituts in der internationalen Fusionsforschung nachdrücklich unterstützt werden sollte. Aufgrund der langfristigen Anlage der Fusionsforschung ist es vor allem erforderlich, daß von staatlicher Seite ein stabiler Finanzrahmen garantiert wird.

Die Fusionsforschung befindet sich gegenwärtig im Stadium des Übergangs zur anwendungsorientierten Grundlagenforschung. Bereits jetzt sind in dem Forschungsprogramm, das im Institut für Plasmaphysik in enger Abstimmung mit europäischen und außereuropäischen Partnern durchgeführt wird, deutlich stärkere Anwendungsbezüge als in der Vergangenheit erkennbar. Diese Anwendungsbezüge sollten in Zusammenarbeit mit den anderen deutschen und ausländischen Partnern im europäischen Fusionsforschungsverbund sowie der Industrie künftig weiter verstärkt werden. Insbesondere wird es beim Übergang in die Anwendung erforderlich sein, das Verständnis der Materialprobleme zu vertiefen, die beim Betrieb eines künftigen Fusionskraftwerks zu berücksichtigen sein werden. Im Zuge der Verstärkung der Anwendungsbezüge der Fusionsforschung sollte mehr als bisher auch Fragen der Sicherheit Rechnung getragen werden. Dabei geht es nicht nur darum, das Forschungsprogramm entsprechend zu ergänzen und zu verstärken, sondern auch und vor allem darum, den Dialog der Forschung mit der

Öffentlichkeit zu intensivieren, um frühzeitig zu einer möglichst breiten Diskussion der auch mit der Fusionsenergie verbundenen Risiken zu gelangen.

Die Erfahrungen bei der Einführung der Fissionsenergie haben gezeigt, daß es nicht sinnvoll ist, die Einführung großtechnischer Anlagen dieser Art voranzutreiben, ohne gleichzeitig in einen intensiven gesellschaftlichen Risikodialog einzutreten.

C.V. Weitere Einrichtungen

V.1. Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, Stuttgart

1. Gründung und Aufgaben

Die Akademie für Technikfolgenabschätzung hat ihre Arbeit 1992 als rechtsfähige Stiftung öffentlichen Rechts des Landes Baden-Württemberg aufgenommen. Ihre Aufgaben umfassen neben der Erforschung und Bewertung von Technikfolgen die Anregung und Koordination des gesellschaftlichen Dialoges über die Technikfolgenabschätzung.

2. Organisation und Ausstattung

2.1. Organisation

Die Akademie für Technikfolgenabschätzung ist wie folgt gegliedert:

Vier Funktionsbereiche:

- Technik, Immission, Umweltqualität
- Technik, Funktionalität, Lebensqualität
- Technik, Gesellschaft, Umweltökonomie
- Technik, Organisation, Arbeit

Geschäftsführung

Querschnittsbereich Diskurs und Öffentlichkeitsarbeit

Der Vorstand besteht aus den Leitern der Funktionsbereiche und dem Geschäftsführer der Akademie. Ein Kuratorium, dem Vertreter von Politik und Verwaltung, Wissenschaft und gesellschaftlichen Gruppen angehören, berät den Vorstand und erarbeitet Empfehlungen zum Arbeits- und Forschungsprogramm der Einrichtung. Die Arbeits- und Entwicklungsplanung und die mittel- und langfristige Finanz-

planung der Akademie werden vom Stiftungsrat beschlossen, in dem Landtag, Regierung und verschiedene gesellschaftliche Gruppen vertreten sind. Konkrete Projektvorschläge werden vom Vorstand und den Mitarbeitern der einzelnen Bereiche ausgearbeitet.

2.2. Haushalt und Personal

Der Gesamthaushalt der Akademie für Technikfolgenabschätzung betrug 1996 9,8 Mio. DM. Davon wurden für Arbeiten in der Energieforschung 0,7 Mio. DM aufgewandt, von denen 270 TDM über Auftragsvergabe an Dritte flossen.

Die Einrichtung verfügt insgesamt über 41,5 Stellen für wissenschaftliches und 15,5 Stellen für nicht-wissenschaftliches Personal; in der Energieforschung waren 1996 nach Personenjahren 5,5 Wissenschaftler tätig, 1,5 davon als freiberufliche Mitarbeiter. Das Durchschnittsalter des wissenschaftlichen Personals der Einrichtung betrug 1996 rund 38 Jahre; 37 % der Wissenschaftler waren jünger als 35 Jahre, 17 % älter als 45 Jahre.

2.3. Infrastruktur und Serviceeinrichtungen

Die Einrichtung verfügt nicht über speziell für die Energieforschung genutzte Infrastruktur- oder Serviceeinrichtungen.

3. Wissenschaftliches Profil

3.1. Energiewissenschaftliche Tätigkeitsschwerpunkte

Die Akademie für Technikfolgenabschätzung befaßt sich mit der Analyse von Energiesystemen im Hinblick auf wirtschaftliche, ökologische und klimatische Auswirkungen verschiedener Energieversorgungskonzepte mit dem Ziel der Aufarbeitung vorhandenen Wissens für den breiteren öffentlichen Diskurs. Im Mittelpunkt stehen die interdisziplinäre Darstellung der jeweiligen Problemlage und das Aufzeigen der verschiedenen möglichen Lösungsansätze. Ein Schwerpunkt liegt hierbei in der

Entwicklung von Szenarien zur klimaverträglichen Energieversorgung in Baden-Württemberg, wobei die Expertensicht um die Meinung einer informierten Öffentlichkeit ergänzt werden soll. Damit soll die Grundlage für die gesellschaftliche Konsensfindung bezüglich der künftigen Struktur des Energiesystems geschaffen werden.

Nach Abschluß eines Diskurses zur Identifikation von Forschungsbedarf im Energiebereich sollen daneben im Rahmen des Diskursprojektes "Energie und Ethik" Bewertungsmaßstäbe für Energiekonzepte auf der Basis ethischer Grundlagen und empirischer Wertanalysen entwickelt werden. Ein Beitrag zur Versachlichung der öffentlichen Diskussion energiepolitischer Optionen soll durch die Untersuchung von Verfahren der Risikobewertung am Beispiel von Energietechnologien und -versorgungssystemen geleistet werden.

3.2. Wichtige Forschungsergebnisse

Die Akademie für Technikfolgenabschätzung zählt zu ihren wichtigsten Forschungsergebnissen den Nachweis, daß die Strom- und Wärmegewinnung aus Biomasse technisch machbar, ökologisch sinnvoll und weitgehend umsetzungsreif sei. Außerdem seien verschiedene Szenarien zur klimaverträglichen Energieversorgung Baden-Württembergs erarbeitet und im Hinblick auf ihr Konfliktpotential in der öffentlichen Diskussion bewertet worden. Der Diskurs zur Themenfindung im Energiebereich habe die Identifikation von Konsens- und Dissensfeldern zum künftigen Forschungsbedarf ermöglicht.

3.3. Veröffentlichungen und Patente

Von 1994 bis 1996 veröffentlichten Mitarbeiter der Akademie für Technikfolgenabschätzung auf dem Gebiet der Energieforschung drei Monographien, vier Beiträge in Zeitschriften, Konferenzberichten und Sammelbänden sowie mehr als 20 Publikationen in institutseigenen Reihen.

3.4. Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Beteiligung an internationalen Forschungsprojekten

Die Projekte der Akademie für Technikfolgenabschätzung werden überwiegend in Kooperation mit Vertretern von Institutionen und gesellschaftlichen Gruppen im In- und Ausland durchgeführt. Dazu zählt insbesondere eine Vielzahl universitärer und außeruniversitärer Forschungsinstitute in Baden-Württemberg. Mitarbeiter der Akademie üben außerdem Beratungsfunktionen für andere Einrichtungen der Energieforschung und für die Politik aus.

3.5. Lehrtätigkeit und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses

Mitarbeiter der Akademie für Technikfolgenabschätzung beteiligen sich an der tertiären Ausbildung durch die Übernahme von Lehraufträgen an verschiedenen Hochschulen. Daneben wird Studierenden die Möglichkeit geboten, Praktika zu absolvieren oder im Rahmen der Mitarbeit an Projekten der Einrichtung Studien- und Diplomarbeiten anzufertigen.

4. Weitere Entwicklung

Nach Angaben der Einrichtung wird sich die Akademie für Technikfolgenabschätzung auch künftig mit dem Themenfeld Energie befassen, wobei der Austausch und die Zusammenarbeit mit Vertretern von Politik, Wirtschaft und anderen gesellschaftlichen Gruppen verstärkt werden sollen. Da Projektbeschreibungen gemeinsam mit den jeweiligen Projektpartnern erarbeitet werden, sei noch kein Abriß künftig zu bearbeitender Fragestellungen möglich. Änderungen in der Organisationsstruktur und Finanzierung der Einrichtung seien nicht vorgesehen.

B. Stellungnahme

Die Akademie für Technikfolgenabschätzung ist mit Studien zu den gesamtgesellschaftlichen Auswirkungen technischer Entwicklungen und der Anleitung des ge-

sellschaftlichen Diskurses zu Technikfolgen an der Schnittstelle von Wissenschaft und Öffentlichkeit tätig. Sie trägt damit nicht durch originäre natur- oder ingenieurwissenschaftliche Arbeiten zur Energieforschung bei, sondern erfüllt wichtige Aufgaben bei der Schaffung der Rahmenbedingungen für die Forschung. Auf diese kann sie zum einen einwirken, indem sie wissenschaftliche Forschungsergebnisse für die Öffentlichkeit aufbereitet und dadurch zur Akzeptanzsteigerung beiträgt. Zum anderen kann sie gesellschaftliche Forderungen bündeln und in ihrer Mittlerposition an die Wissenschaft herantragen, um auf diese Weise Impulse für die Formulierung von Forschungszielen und -programmen zu geben.

Beim Transfer wissenschaftlicher Erkenntnisse in die öffentliche Diskussion hat die Akademie Erfolge zu verzeichnen, wie zum Beispiel die differenzierten Ergebnisse der Diskussion von Szenarien für eine klimaverträgliche Energieversorgung unter Bürgerbeteiligung zeigen. Diese Erfolge schlagen sich nicht zuletzt auch in der Wertschätzung nieder, die der Arbeit der Akademie von politischen Entscheidungsträgern in Baden-Württemberg, aber auch auf Bundesebene entgegengebracht wird. Die Rückkopplung aus dem öffentlichen Diskurs über energiepolitische Fragen in die Wissenschaft hingegen erweist sich bislang noch als unzureichend.

Die Aufgabenstellung der Akademie für Technikfolgenabschätzung bedingt in hohem Maße Unabhängigkeit und Transparenz. Diese sollen durch die vielfältige Einbindung verschiedener Interessenvertreter in den Prozeß der Themenfindung und -bearbeitung gewährleistet werden. Die ebenso erforderliche wissenschaftliche Breite sichert sich die Akademie durch die Bildung themenbezogener, institutionenübergreifender Netzwerke von Experten. Diese Strukturelemente sind geeignet, die Relevanz der Arbeiten der Akademie und ihre Akzeptanz in Öffentlichkeit und Politik zu sichern. Von großer Bedeutung für die Erhöhung der Akzeptanz der von der Akademie formulierten und vermittelten gesellschaftlichen Prioritäten besonders auf Seiten der Wissenschaft ist die methodische Sorgfalt bei der Konzeption des öffentlichen Diskurses. Hier sollte die Akademie vermehrt die Kooperation mit den universitären Sozialwissenschaften suchen, um ihr diskursives Instrumentarium zu ergänzen und zu verfeinern. Außerdem sollte sie die Ingenieurwissenschaften stärker in die Diskurse einbeziehen.

V.2. Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE), München

A. Ausgangslage

1. Gründung und Aufgaben

Die Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE) mit Sitz in München wurde 1952 mit der Aufgabe gegründet, sich als neutrale, über dem Wettbewerb der einzelnen Energieträger stehende Institution auf wissenschaftlicher Grundlage mit energietechnischen und energiewirtschaftlichen Fragen zu befassen. Träger ist die Gesellschaft für praktische Energiekunde e.V. (GFPE), ein seit 1949 bestehender gemeinnütziger Verein mit Mitgliedern aus allen Energiebereichen, Industrie, Wissenschaft und Verwaltung.

2. Organisation und Ausstattung

2.1. Organisation

Die Forschungsstelle für Energiewirtschaft gliedert sich in die drei Bereiche Wissenschaftliche Arbeiten, Öffentlichkeitsarbeit und Verwaltung. Das Arbeitsprogramm wird von dem wissenschaftlichen Leiter vorgegeben, der zugleich Lehrstuhlinhaber an der TU München ist.

2.2. Haushalt und Personal

Die Gesamtausgaben der Forschungsstelle für Energiewirtschaft beliefen sich im Jahr 1996 auf ca. 3,5 Mio. DM, die überwiegend auf Arbeiten in der Energieforschung entfielen. Davon konnten 300 TDM durch Mitgliederbeiträge gedeckt werden; 3,2 Mio. DM wurden an Drittmitteln von Bund, Ländern, EU, Industrie und Stiftungen eingeworben. Die Ausgaben entfielen etwa zu 65 % auf Personal, 25 % auf Verbrauchsmittel und 10 % auf Investitionen.

Die Forschungsstelle für Energiewirtschaft verfügte 1996 über insgesamt 23 Mitarbeiter, die in der Energieforschung tätig waren, davon 13 Wissenschaftler mit befristeten Anstellungsverträgen. Durch auslaufende Verträge sind jährlich 3 bis 4 Neueinstellungen erforderlich, die sich nach der Auftragslage richten; das Maximum liegt bei 26 Mitarbeitern.

2.3. Infrastruktur und Serviceeinrichtungen

Die Forschungsstelle verfügt über einen umfangreichen Meßgerätepark, darunter drei PC-gesteuerte Thyristorprüfstände zur Durchführung meßtechnischer Untersuchungen von Traktionsbatteriesystemen, einen PC-gesteuerten Antriebsprüfstand zur meßtechnischen Untersuchung der einzelnen Komponenten elektrischer Antriebe von der Einspeisequelle bis zur Motorwelle, Photovoltaik-Prüfstände sowie ferner eine Pilotanlage zur induktiven UHT-Erhitzung von hochviskosen Nahrungsmitteln und eine Versuchsanlage zur Kondensatorfelderwärmung.

3. Wissenschaftliches Profil

3.1. Energiewissenschaftliche Tätigkeitsschwerpunkte

Derzeit bestehen folgende fünf Arbeitsschwerpunkte:

Strukturanalysen und Prognosen zum Energieverbrauch:

Die FfE erstellt seit vielen Jahren Strukturanalysen und Prognosen, die dazu beitragen, möglichst detailliert Entwicklung und Struktur des Energieverbrauchs zu ermitteln.

Rationelle Energieanwendung und -erzeugung:

Arbeitsschwerpunkt der FfE in diesem Bereich ist die meßtechnische Analyse von Einzelanlagen und Betrieben. Neben der detaillierten Untersuchung einzelner Energieanwendungstechniken werden umfassende Energieversorgungskonzepte für Kommunen, Betriebe und öffentliche Einrichtungen erstellt.

Analyse von Elektro- und Erdgasfahrzeugen:

Für eine vergleichende meßtechnische Untersuchung alternativer Antriebstechniken unter Praxisbedingungen stehen der FfE ein Elektrofahrzeug und ein Erdgasfahrzeug mit der dazugehörigen Betankungsanlage zur Verfügung.

Kumulierter Energieaufwand und Stoffbilanzen:

In Zusammenarbeit zwischen dem Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Kraftwerkstechnik der TU München und der FfE wurde eine Methodik zur Bestimmung des kumulierten Energieaufwandes (KEA) entwickelt, einer Kenngröße für die primär-energetisch bewerteten Aufwendungen zur Herstellung, Nutzung und Entsorgung eines Gegenstandes. Unter Einsatz dieser Methodik wurden im Rahmen von Prozeßkettenanalysen auf vielen Gebieten Daten zu Massen- und Energieaufwendungen zusammengetragen und in einer Datenbank abgelegt, die kontinuierlich ergänzt, aktualisiert und nutzergerecht aufbereitet wird. Es ist geplant, auf dieser Grundlage ein Informationssystem für externe Nutzer (Behörden, Verbände, Industrie- und Gewerbebetriebe) aufzubauen.

Regenerative Energien und Wasserstofftechnologien:

Die FfE führt meßtechnische Analysen für unterschiedliche Energiesysteme in Feldversuchen und auf Prüfständen durch. Sie erstellt ganzheitliche Energie- und Massenbilanzen für Photovoltaik- sowie Windkraftanlagen und stellt ihre Beratung bei der Definition und Bewertung von Förderkonzepten zur Verfügung. Sie betreibt auch Potentialstudien und Öffentlichkeitsarbeit im Bereich der regenerativen Energien.

3.2. Wichtige Forschungsergebnisse

Die FfE führt als bedeutendste Ergebnisse in der Energieforschung aus den letzten fünf Jahren an:

- eine erstmalig erstellte Endenergie- und Stromanwendungsbilanz für Deutschland;

- die Entwicklung von Anlagen zur induktiven Erwärmung fließfähiger Nahrungsmittel;
- Off-cycle-Emissionsmessungen an Gas- und Benzinfahrzeugen;
- die Ermittlung und Realisierung von Potentialen zur rationellen Energienutzung in Betrieben.

3.3. Veröffentlichungen, Patente

Mitarbeiter der FfE haben 1996 31 Publikationen in begutachteten Zeitschriften veröffentlicht und 50 Vorträge gehalten. Darüber hinaus wurden von der FfE regelmäßig Tagungen und Seminare ausgerichtet. In den Jahren 1992 bis 1994 wurden zwei Patente angemeldet.

3.4. Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen

Es besteht eine Zusammenarbeit mit der Technischen Universität München, regionalen und kommunalen Energieversorgungsunternehmen, dem Bayerischen Zentrum für Angewandte Energieforschung sowie mehreren Industriebetrieben und Forschungseinrichtungen auf dem Energiesektor im Rahmen von Verbundprojekten.

3.5. Lehrtätigkeit und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses

An der FfE werden jährlich etwa 15-20 Diplomarbeiten mit unterschiedlichen Themenstellungen sowie 1-2 Doktoranden im Rahmen längerfristiger Aufträge betreut. Darüber hinaus bietet die FfE die Möglichkeit zur Ableistung studienbegleitender Praktika und zur Durchführung von Studienarbeiten. Eine in der Satzung der Gesellschaft für praktische Energiekunde festgeschriebene Zielsetzung ist die nachuniversitäre Ausbildung von Hochschulabsolventen. Im Rahmen einer auf maximal fünf Jahre befristeten Anstellung werden die Mitarbeiter mit der Projektleitung von Fördervorhaben betraut. Während dieser Zeit haben sie vielfältige Möglichkeiten zur Fort- und Weiterbildung und erhalten die Möglichkeit zu Fachvorträgen bei nationalen und internationalen Tagungen.

4. Weitere Entwicklung

Perspektiven ihrer künftigen Tätigkeit sieht die FfE in den folgenden Aufgabenschwerpunkten:

- ganzheitliche energetische Bilanzierung (Lebenszyklusanalyse von Energiesystemen);
- Aufbereitung von energetischen Kennzahlen und Kennlinien von Querschnittstechnologien für die FIZ-Datenbank (BMBF-Projekt IKARUS);
- meßtechnisch gestützte Analyse von energietechnischen Anlagen.

B. Stellungnahme

Entsprechend der Zielsetzung, sich auf wissenschaftlicher Grundlage mit energietechnischen und energiewirtschaftlichen Fragestellungen zu befassen, liegt der Schwerpunkt der von der FfE durchgeführten Forschungsarbeiten auf der Anwendung wissenschaftlicher Methoden zur Lösung praxisorientierter Problemstellungen und der Bearbeitung angewandter Problemlösungen technischer Art. Hierdurch ergeben sich in Teilbereichen Analogien zum Tätigkeitsspektrum von Ingenieurbüros. Die experimentellen Forschungsarbeiten umfassen überwiegend Auftragsarbeiten im Bereich Elektrothermie sowie längerfristig angelegte Meß- und Prüfverfahren.

Unter den theoretischen Arbeiten sind insbesondere die methodische Grundlegung zur Ermittlung des kumulierten Energieaufwands (KEA) von Gütern und Dienstleistungen hervorzuheben sowie die Entwicklung eines standardisierten Instrumentariums für die rechnergestützte Berechnung und Beurteilung von Energiesystemen. Beide Arbeitsbereiche liefern wichtige Beiträge zu energiepolitischen Analysen.

Die FfE leistet darüber hinaus einen kontinuierlichen Beitrag zur universitären und nachuniversitären praxisbezogenen Ausbildung, indem sie im Rahmen ihrer Pro-

jekte Diplomanden und Doktoranden betreut und jungen Hochschulabsolventen die Möglichkeit gibt, Erfahrung in der Projektleitung von Fördervorhaben zu gewinnen.

Die starke Orientierung an Entwicklungs- und Beratungsaufträgen ist auf die Finanzierungsbedingungen der FfE zurückzuführen. Im Gegensatz zu den meisten außeruniversitären Forschungseinrichtungen, zu denen hier Stellung genommen wird, erhält die FfE keine Grundfinanzierung durch eine öffentliche Institution und ist daher dauerhaft darauf angewiesen, mehr als 90 % der jährlich erforderlichen Mittel im Rahmen von Forschungsprojekten und -aufträgen von Industrie und öffentlicher Hand einzuwerben. Die Basisförderung aus den Mitgliedsbeiträgen, die der Trägerverein aufbringt, deckt lediglich knapp 9 % der jährlichen Ausgaben. Diese Finanzierungsform führt zu einer großen Abhängigkeit von kurzfristigen Interessen externer Auftraggeber sowie von vorgegebenen Förderprogrammen und -zielen und läßt kaum Spielraum für selbständige Forschung.

Um die Leistungsfähigkeit als Forschungsstelle zu verbessern, empfiehlt der Wissenschaftsrat, das wissenschaftliche Konzept zu überprüfen und weiterzuentwickeln; hierbei kommt dem Trägerverein eine aktive Rolle zu. In diesen Zusammenhang sollte auch die Frage einbezogen werden, wie die Finanzierungsstruktur der FfE verbessert werden kann. Dabei ist an eine Anhebung der jährlichen Basisförderung durch die Träger oder die Überführung in eine privatwirtschaftliche Organisation zu denken, die sich auf Aufgabenbereiche konzentriert, für die ein durch Aufträge nachgewiesenes Industrieinteresse besteht.

V.3. Institut für Solare Energieversorgungstechnik (ISET), Kassel

A. Ausgangslage

1. Organisation und Ausstattung

Das Institut für Solare Energieversorgungstechnik (ISET), Kassel, wurde 1988 in der Rechtsform eines eingetragenen Vereins als An-Institut an der Universität-Gesamthochschule Kassel auf Initiative des Landes Hessen, der Gesamthochschule Kassel und der Stadt Kassel gegründet. Es befaßt sich mit anwendungsorientierter Forschung und vorindustrieller Entwicklung auf dem Gebiet der erneuerbaren Energiequellen und der rationellen Energieverwendung.

Das Institut gliedert sich organisatorisch in Mitgliederversammlung, Verwaltungsrat (Aufsichtsgremium), Vorstand (Leitung) und Abteilungen. Darüber hinaus besteht ein Wissenschaftlicher Beirat, dem bei Programmdiskussionen und Entscheidungen über die Arbeitsschwerpunkte des Instituts eine beratende Funktion zukommt.

Die Gesamtausgaben des ISET, die zu 100 % auf die Energieforschung entfielen, beliefen sich im Jahre 1996 auf 12 Mio. DM. Davon wurden 2 Mio. DM über die institutionelle Förderung durch das Land Hessen gedeckt und weitere 10 Mio. DM durch Drittmittel im Rahmen landes-, bundes- und EU-geförderter Verbundvorhaben sowie Industriemittel.

Das ISET verfügte 1996 über insgesamt 65 Personalstellen, davon 45 für Wissenschaftler. Die Wissenschaftlerstellen wurden nahezu vollständig über Drittmittel finanziert.

2. Wissenschaftliches Profil

Im Rahmen wissenschaftlicher Projekte und industrienaher Kooperationen werden schwerpunktmäßig elektro- und systemtechnische Fragestellungen bearbeitet. Hierbei befaßt sich das Institut vorwiegend mit den Themen Windenergienutzung,

photovoltaische Systemtechnik, Elektrotraktion, Speichersysteme, Brennstoffzellen, Leistungsaufbereitung, Stromrichtertechnik, Hybridsysteme sowie die Bereiche rationelle Energieverwendung und energietechnische Aspekte bei der Wasser- und Abwasserbehandlung.

Folgende Ergebnisse in der Energieforschung aus den letzten fünf Jahren werden vom Institut exemplarisch hervorgehoben:

- Einführung modularisierter und standardisierter Systemkonzepte im Bereich erneuerbarer Energien (Photovoltaik-Anlagen, Hybridsysteme),
- Entwicklung von Systemkomponenten für Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien gemeinsam mit der Industrie (Photovoltaik-Wechselrichter, modulare Energiespeichereinheit),
- Entwicklung eines Geräts und entsprechender Verfahren für die Fehlerfrüherkennung in Windkraftanlagen,
- Entwicklung eines physikalisch orientierten Simulationsmodells für Bleibatterien,
- Entwicklung eines Säuresensors für die Ladezustandserfassung in Bleibatterien.

Als wichtigste Kooperationspartner nennt das ISET neben der Universität Gesamthochschule Kassel die Institute des Forschungsverbundes Sonnenenergie sowie europäische Solar- und Windenergietechnikinstitute. Darüber hinaus besteht eine Zusammenarbeit mit kleinen und mittleren Unternehmen aus den Bereichen Elektronik, Elektro- und Systemtechnik, mit Windkraftanlagenherstellern sowie mit der Automobilindustrie und mit Batterieherstellern.

B. Stellungnahme

Mit seiner Aufgabenstellung, die im systemtechnischen Umfeld der erneuerbaren Energien und der rationellen Energiewandlung angesiedelt ist, bewegt sich das ISET auf einem Forschungsgebiet mit Auswirkungen auf breite energiebezogene Anwendungsfelder. Die durchgeführten Arbeiten sind von guter Qualität. Darunter sind insbesondere Entwicklungen in den Bereichen Photovoltaikmodule (modulinintegrierte Wechselrichter), Regelungstechnik für Windenergiekonverter sowie Modellierung von Batterien zu nennen.

Hervorzuheben sind weiter die gute Einbindung in die wichtigsten Kooperationsverbände auf dem Gebiet der erneuerbaren Energien und der hohe Anteil eingeworbener Projektmittel aus verschiedenen Quellen. Sehr zu begrüßen ist auch die intensive Zusammenarbeit mit Industrieunternehmen verschiedener Branchen, die gute Voraussetzungen für einen Transfer wissenschaftlicher Ergebnisse in die wirtschaftliche Umsetzung bietet.

V.4. Institut für Solarenergieforschung (ISFH), Hameln

A. Ausgangslage

1. Organisation und Ausstattung

Das ISFH wurde 1987 in der Rechtsform einer gemeinnützigen GmbH als An-Institut an der Universität Hannover gegründet. Alleiniger Gesellschafter ist das Land Niedersachsen. Das Institut betreibt angewandte Forschung auf dem Gebiet der Solarenergienutzung einschließlich Beratung und Fortbildung. Es gliedert sich in die drei Fachabteilungen Photovoltaik, Systemtechnik von Solarenergieanlagen, Photochemie und Dünnschichttechnik sowie Geschäftsführung und zentrale Dienste. Neben dem Aufsichtsrat besteht ein Wissenschaftlicher Beirat, der den Aufsichtsrat und die Geschäftsführung in wissenschaftlichen und technischen Fragen berät.

Die Gesamtausgaben des Instituts, die zu 100 % auf die Energieforschung entfallen, beliefen sich im Jahr 1996 auf 8 Mio. DM. Davon wurden 5 Mio. DM im Rahmen der institutionellen Forschungsförderung vom Land Niedersachsen zur Verfügung gestellt und 3 Mio. DM über Drittmittel vom Bund (1,9 Mio. DM), der EU (0,3 Mio. DM), der Industrie (0,3 Mio. DM), der DFG (0,1 Mio. DM) und anderen Institutionen (0,4 Mio. DM) eingeworben.

Das ISFH verfügte 1996 über 57 Personalstellen, davon 36 für Wissenschaftler, von denen die Hälfte über Drittmittel finanziert wurden.

2. Wissenschaftliches Profil

Wichtige Arbeitsschwerpunkte des Instituts liegen in den Bereichen

- Entwicklung von kristallinen Silicium-Solarzellen;
- Entwicklung und Optimierung von Halbleiter-Charakterisierungsverfahren für die Photovoltaik;

- Cadmiumtellurid-Solarzellentechnologie;
- Solarchemische Wasserreinigung;
- Galvanische Herstellung von Kupferindiumdiselenid, Dünnschichtsolarzellen ohne Vakuumtechnologie in Substrat-Konfiguration;
- Recycling von Siliciumsolarzellen;
- Entwicklung innovativer Fassadenelemente mit transparenter Wärmedämmung bzw. integrierten Kollektoren;
- Entwicklung adaptiver Regelungsstrategien für Solarenergie-Nutzungsanlagen;
- Planung und Erstellung von Anlagen zur solaren Wärmeerzeugung im Temperaturbereich von 50 bis 220 EC und Durchführung analytisch-statistischer Untersuchungen zum Betriebsverhalten von Solarenergieanlagen.

Als wesentliche Ergebnisse in der Energieforschung in den letzten Jahren werden vom Institut unter anderem genannt:

- Entwicklung eines Niedertemperaturverfahrens zur elektronischen und optischen Vergütung von Siliciumoberflächen (PECVD-Siliciumnitrid);
- Entwicklung einfacher Silicium-Solarzellen mit Wirkungsgraden über 21 % sowie höchsteffizienter beidseitig lichtausnutzender Silicium-Solarzellen;
- Entwicklung einer Prismenscheibe zur saisonalen Verschattung transparent gedämmter Fassaden;
- Entwicklung innovativer Kollektoren zur Prototypreihe;
- Entwicklung von Dünnschichtreaktoren zur Detoxifizierung von Abwässern.

Kooperationspartner des ISFH sind mehrere Universitäten sowie auf dem Gebiet der Solarzellentechnik, der Solarenergienutzung und des Solarzellenrecyclings tätige Industrieunternehmen.

B. Stellungnahme

Die Arbeitsgebiete des Instituts für Solarenergieforschung decken ein breites Spektrum ab, das sich von der grundlagen- und anwendungsorientierten Solarzellenfor-

schung und photovoltaischer Systemtechnik bis zum Einsatz aktiver und passiver solarthermischer Systeme insbesondere zur Warmwasserbereitstellung erstreckt. In den letzten Jahren wurde der Arbeitsschwerpunkt Photovoltaik als Verbindung zwischen der Material- und der Solarenergieforschung ausgebaut.

Unter den Forschungsschwerpunkten sind insbesondere die Arbeiten auf dem Gebiet der Solarzellen aus kristallinem Silicium hervorzuheben, mit denen gute Ergebnisse erzielt wurden. Das Institut ist auf diesem Schwerpunkt anerkannt. Im Bereich Solarthermie werden eine Vielzahl unterschiedlicher Aktivitäten verfolgt, bei denen vielfach die Anwendung wissenschaftlicher Erkenntnisse zur Lösung praxisorientierter Problemstellungen im Vordergrund steht. Die intensive Zusammenarbeit mit Industrieunternehmen bei der Entwicklung innovativer Solarzellen, der Entwicklung verbesserter Solarkollektoren und der passiven Solarenergienutzung ist sehr zu begrüßen. Diese Kooperationen tragen zu einer effektiven Umsetzung von Forschungsergebnissen in die industrielle Anwendung bei. Die Zusammenarbeit mit Hochschuleinrichtungen sollte ausgebaut werden, damit das in Hameln angesiedelte Institut das für seine Innovationsfähigkeit unerläßliche wissenschaftliche Umfeld erhält. Dafür bieten sich vor allem die Universität Hannover und die Technische Universität Braunschweig an, zu denen bereits Kooperationsbeziehungen bestehen.

V.5. Deutsches Windenergie-Institut (DEWI), Wilhelmshaven

A. Ausgangslage

1. Organisation und Ausstattung

Das Deutsche Windenergie-Institut (DEWI), Wilhelmshaven, wurde 1990 in der Rechtsform einer gemeinnützigen GmbH gegründet. Alleiniger Gesellschafter ist das Land Niedersachsen. Das Institut betreibt angewandte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Windenergie, wobei viele Arbeiten in nationaler und internationaler Kooperation durchgeführt werden. Es gliedert sich in die vier Abteilungen Grundlagen, Testfeld, Systemtechnik und Beratung. Das DEWI verfügt über einen Wissenschaftlichen Beirat.

Das Haushaltsvolumen des DEWI belief sich im Jahre 1996 auf 4,2 Mio. DM, die zu etwa einem Drittel für die Energieforschung und zu zwei Dritteln für Serviceaufgaben aufgewendet wurden. Etwa ein Drittel des Gesamthaushaltes wird im Rahmen der institutionellen Förderung vom Land Niedersachsen zur Verfügung gestellt. Ergänzend zu Grundausstattung und Aufträgen wurden 1996 0,5 Mio. DM Drittmittel von der EU eingeworben. 1996 waren in der Energieforschung nach Personenjahren 8 Wissenschaftler tätig, davon wurden 4 über Drittmittel beschäftigt.

2. Wissenschaftliches Profil

Die Arbeitsschwerpunkte des Instituts liegen in den Bereichen Akustik, Aerodynamik, elektrische Netzanbindung, Windparkauslegung und Potentialermittlung; darüber hinaus befaßt man sich mit der Vereisung von Windenergieanlagen und arbeitet an der Gestaltung internationaler Richtlinien mit. Es werden Untersuchungen zu Rotorblattdynamik, Lastannahmen, Geräuschemissionen, meteorologischen Zusammenhängen sowie dynamische Belastungsmessungen durchgeführt. Die vom DEWI angebotenen Gutachtertätigkeiten und Auftragsarbeiten

umfassen die Beurteilung von Windenergieanlagen und -projekten bis hin zur kompletten Auslegung von Windparks.

Zu seinen wichtigsten Forschungsergebnissen zählt das DEWI die Entwicklung verbesserter Methoden zur Bestimmung von Geräuschpegeln, Windpotentialen und Geräuschkinderung von Windenergieanlagen.

Das DEWI verfügt über ein Versuchsfeld, mit dem Versorgungssysteme, wie beispielsweise Wind-Diesel-Speichersysteme, simuliert und im praktischen Betrieb erprobt werden können. Es stehen mobile und stationäre Datenerfassungssysteme zur Verfügung.

Das DEWI arbeitet mit Partnern in 12 europäischen Ländern im Rahmen von Forschungsprojekten zusammen, es ist Mitglied mehrerer Forschungsverbände auf europäischer Ebene und führt weltweit Aufträge durch. Kooperationen bestehen darüber hinaus mit der Universität Oldenburg sowie mit Herstellern von Windenergieanlagen.

B. Stellungnahme

Entsprechend der Zielsetzung des Instituts, angewandte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Windenergie zu betreiben, liegt der Schwerpunkt der Arbeiten auf der Anwendung wissenschaftlicher Methoden und Erkenntnisse für die technische Nutzung der Windenergie. Dabei werden in größerem Umfang Aufträge und Gutachten zur Vermessung von Windenergieanlagen sowie zur Berechnung von Windpotentialen und Optimierung von Windparkprojekten übernommen. Die Ergebnisse werden für die Weiterentwicklung der Anlagen (Nennleistungen, Wirkungsgrade) und der Bauteile sowie die Verbesserung der wissenschaftlichen Methoden und die Präzisierung der Auslegungsverhältnisse genutzt. Mit diesen Aufgaben nimmt das DEWI für die energetische Nutzung der Windkraft insbesondere im norddeutschen Raum eine wichtige Stellung ein.

Unter den Forschungsschwerpunkten sind vor allem die auf den Gebieten Geräuschemissionen und aerodynamische Untersuchungen geleisteten Arbeiten sowie die Potentialabschätzungen hervorzuheben.

Durch die Übernahme von Aufträgen kann das DEWI einen bedeutsamen Anteil an seiner Finanzierung erwirtschaften. Das finanzielle Engagement des Landes Niedersachsen ist jedoch auch künftig erforderlich, damit sich das Institut Aufgaben in Forschung und Entwicklung in ausreichendem Maße widmen kann. Eine Kooperation mit einer Universität, die Forschungsarbeiten zur Windenergie schwerpunktmäßig betreibt, wäre sinnvoll (vgl. Abschnitt A.III.3.3.).

V.6. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie

A. Ausgangslage

1. Gründung und Aufgaben

Das Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie wurde 1991 vom Land Nordrhein-Westfalen als gemeinnützige GmbH gegründet und gehört zum Wissenschaftszentrum Nordrhein-Westfalen. Seine Aufgabe besteht in der umsetzungsorientierten Forschung, der wissenschaftlichen Politikberatung und der Wahrnehmung einer Mittlerrolle zwischen Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Öffentlichkeit in Fragen einer umweltorientierten Energie-, Verkehrs- und Klimapolitik.

2. Organisation und Ausstattung

2.1. Organisation

Das Institut ist in die Abteilungen Klimapolitik, Stoffströme/Strukturwandel, Energie und Verkehr gegliedert. Diese werden ergänzt durch verschiedene Arbeitsgruppen, die sich mit Querschnittsaufgaben wie der Entwicklung neuer Wohlstandsmodelle oder der Systemanalyse und Simulation befassen. Das Institut wird von einem wissenschaftlichen Beirat beraten, dem Vertreter von Wissenschaft und Politik aus dem In- und Ausland angehören. Die Arbeit des Instituts wird von einem Aufsichtsrat überwacht, in dem neben dem Land Nordrhein-Westfalen Verbände und der Beirat vertreten sind.

2.2. Haushalt und Personal

Der Haushalt des Wuppertal Instituts umfaßte 1996 institutionelle Mittel in Höhe von 7 Mio. DM, von denen 900 TDM auf die Abteilung Energie entfielen. Zusätzlich wurden vom Institut insgesamt rund 6,5 Mio. DM an Drittmitteln eingeworben. Von den rund 2,2 Mio. DM Drittmitteln der Abteilung Energie stammte 1 Mio. DM von der Europäischen Union, weitere bedeutende Geldgeber waren verschiedene for-

schungsnahe Einrichtungen (rund 1 Mio. DM) und ein kommunaler Energieversorger (ca. 230 TDM). In den Jahren 1995 und 1997 warb die Abteilung Projektfördermittel bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft ein.

Am Institut sind 62 Wissenschaftler beschäftigt, von denen 36 über Drittmittel finanziert werden. Von den 26 nichtwissenschaftlichen Mitarbeitern besetzen 22 Planstellen. In der Abteilung Energie waren 1996 14 Wissenschaftler mit ingenieur-, natur-, wirtschafts-, sozial- oder rechtswissenschaftlicher Ausbildung auf 5 Plan- und 9 mit Drittmitteln finanzierten Stellen, 2 nichtwissenschaftliche Mitarbeiter auf je einer Plan- und einer mit Drittmitteln finanzierten Stelle tätig.

2.3. Infrastruktur und Serviceeinrichtungen

Die allgemeinen Infrastruktureinrichtungen des Instituts, Bibliothek, Archiv und Bildstelle, stehen der Nutzung auch durch externe Wissenschaftler offen.

3. Wissenschaftliches Profil

3.1. Energiewissenschaftliche Tätigkeitsschwerpunkte

Die Abteilung Energie des Wuppertal Instituts untersucht die technischen und sozioökonomischen Bedingungen einer in ökologischer, ökonomischer und sozialer Hinsicht dauerhaften Energiewirtschaft. Sie entwirft Energie- und Klimaschutzkonzepte und -szenarien für die kommunale, nationale und europäische Ebene, entwickelt Instrumente zur Erschließung neuer Geschäftsfelder für Energieversorgungsunternehmen, analysiert technische und sozioökonomische Möglichkeiten und Hemmnisse für eine rationelle Energieverwendung in Industrie und Haushalten und befaßt sich daneben mit den rechtlichen Rahmenbedingungen des Energiesektors.

Fragen der Energieforschung werden außerdem im Arbeitsbereich des Präsidenten des Instituts behandelt, der sich insbesondere mit Fragen der effizienten Nutzung von Energie befaßt. Im Querschnittsbereich Systemanalyse und Simulation werden

Potentiale für die Integration der Nutzung erneuerbarer Energien bei der Energieversorgung auf europäischer Ebene untersucht.

3.2. Wichtige Forschungsergebnisse

Als wichtiges Forschungsergebnis der Abteilung Energie nennt das Institut u.a. die Entwicklung eines neuen Konzeptes der Unternehmensplanung (Least-Cost-Planning) für Energieversorgungsunternehmen, das auch die Erschließung von Energieeinsparpotentialen bei Endverbrauchern berücksichtige. Im Rahmen dieses Konzeptes sei die Erschließung zukunftssträchtiger Energiedienstleistungsmärkte gefördert worden. Außerdem sei eine Vielzahl von Energie- und Klimaschutzkonzepten für Städte und Gemeinden im gesamten Bundesgebiet und verschiedene Bundesländer erarbeitet worden, die konkrete Maßnahmenkataloge für die jeweiligen Entscheidungsträger beinhalteten. Im Bereich der Hemmnis- und Umsetzungsforschung seien erfolgreiche Energiesparprojekte im Haushalts- und Industriebereich im Hinblick auf konkrete Ansatzpunkte zur Hemmnisüberwindung analysiert und deren Übertragbarkeit überprüft worden. Die Aktivitäten des Instituts bei der energierechtlichen Beratung von Kommunen und Stadtwerken hätten zu neuartigen institutionellen Lösungen der kommunalen Energieversorgung geführt.

3.3. Veröffentlichungen und Patente

Von 1994 bis 1996 veröffentlichten Mitarbeiter der Abteilung Energie des Wuppertal Instituts 36 Studien, 24 Monographien und 9 Artikel in begutachteten Zeitschriften oder als begutachtete Konferenzbeiträge; hinzu kamen 80 Veröffentlichungen in anderen Publikationsorganen.

3.4. Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Beteiligung an internationalen Forschungsprojekten

Die Abteilung Energie des Wuppertal Instituts setzt ihre anwendungsorientierten Forschungen in verschiedenen Projekten in Zusammenarbeit mit Industrieunternehmen, Energieversorgungsunternehmen, Unternehmen der Wohnungswirtschaft

und verschiedenen Verbänden in die Praxis um. Außerdem kooperiert sie in Deutschland mit Hochschulinstituten und verschiedenen öffentlichen und privaten Forschungseinrichtungen. In größeren internationalen Forschungsprojekten arbeitet das Institut mit Hochschulen, außeruniversitären Forschungseinrichtungen und Energieversorgungsunternehmen im In- und Ausland zusammen.

3.5. Lehrtätigkeit und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses

Mitarbeiter der Abteilung Energie des Wuppertal Instituts engagieren sich in der tertiären Ausbildung durch die Übernahme von Lehraufträgen an verschiedenen Hochschulen. Bis 1997 wurden 5 vom Leiter der Abteilung Energie betreute Dissertationen abgeschlossen, weitere 9 Dissertationen befinden sich in Vorbereitung. Der Leiter der Abteilung Energie war außerdem an einer Habilitation beteiligt. Das Institut bietet Studierenden die Möglichkeit, im Rahmen der Mitarbeit an Projekten Diplomarbeiten anzufertigen; bis 1996 wurden 4 Arbeiten abgeschlossen, weitere befinden sich in der Bearbeitung.

4. Weitere Entwicklung

Nach Angaben der Einrichtung wird sich das Wuppertal Institut künftig verstärkt mit Grundlagenforschung und Konzeptentwicklungen für ökologisch effiziente Dienstleistungen befassen. Die interdisziplinäre Bearbeitung energiewirtschaftlicher Fragestellungen soll durch eine verstärkte Berücksichtigung sozioökonomischer Fragestellungen in allen Forschungsfeldern vertieft werden. Ein weiteres künftiges Forschungsgebiet soll die Frage der Finanzierung des ökologischen Umbaus der Volkswirtschaft sein.

Eine Änderung der Organisations- und Finanzierungsform des Instituts ist nicht geplant.

B. Stellungnahme

Das Wuppertal Institut wurde mit dem Auftrag gegründet, auf seinen Arbeitsgebieten Klimaschutz-, Energie- und Umweltpolitik eine Vermittlerrolle zwischen Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Öffentlichkeit einzunehmen. Entsprechend betreibt das Institut Energieforschung nicht im ingenieur- oder naturwissenschaftlichen Sinne der Verbesserung vorhandener oder der Entwicklung neuer technischer Methoden der Energiewandlung und -nutzung, sondern befaßt sich, aufbauend auf den Erkenntnissen der genannten Wissenschaften, mit praxisorientierten energiewirtschaftlichen Konzeptentwicklungen und Systemanalysen. Ausgehend von seinem Leitgedanken der Realisierung vorhandener technischer Energieeinsparpotentiale als ökonomischer Ressource leistet das Institut Beiträge zur praktischen Umsetzung der in den Natur- und Ingenieurwissenschaften erzielten Fortschritte in der rationellen Energieanwendung.

Neben seinen auf anwendungsorientierter Forschung beruhenden Arbeiten zur Implementation rationeller Energienutzungskonzepte in Wirtschaftsunternehmen und Haushalten, zur energiepolitischen Entscheidungsfindung und zur Information der Öffentlichkeit über Möglichkeiten der Energieeinsparung ergänzt das Institut die ingenieur- und naturwissenschaftliche Energieforschung um die wissenschaftliche Beschäftigung mit den Bestimmungsfaktoren der erfolgreichen Umsetzung neuer Technologien in Wirtschaft und Gesellschaft. Auf diesem Gebiet nutzt das Institut seine Erfahrungen aus der Beratung und Konzeptentwicklung für Unternehmen, Politik und Verwaltung sinnvoll zu grundlagenorientierter Forschung in Zusammenarbeit mit universitären und anderen außeruniversitären Forschungseinrichtungen. Hervorzuheben ist die erfolgreiche Mitteleinwerbung bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft für dieses Arbeitsgebiet.

An den Arbeiten des Instituts in der Energieforschung sind Ingenieur-, Natur-, Sozial- und Rechtswissenschaftler beteiligt; die Basis für die notwendigen fachübergreifenden Forschungen ist somit vorhanden. Empfehlenswert wäre jedoch eine über die bestehenden Kooperationen hinausgehende Anbindung an die einschlägige universitäre und außeruniversitäre Forschung, um die methodische Qua-

lität und die wissenschaftliche Fundierung der Arbeiten des Instituts sowohl auf sozioökonomischem als auch auf ingenieur- und naturwissenschaftlichem Gebiet zu verbessern. Des Weiteren sollten wissenschaftliche Erkenntnisse stärker von Werturteilen getrennt werden. Beachtenswert ist die Beteiligung des Instituts an der Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses, die durch die Praxis gemeinsamer Berufungen für Direktorenstellen mit Hochschulen maßgeblich befördert wird.

Seine verschiedenen Zielgruppen in Wirtschaft, Politik und der breiteren Öffentlichkeit erreicht das Institut durch rege Publikation seiner Arbeitsergebnisse in entsprechend aufbereiteter Form als Monographien oder Beiträge in Zeitschriften und bei Konferenzen. Erhöht werden sollte der Anteil der Publikationen in einschlägigen, begutachteten wissenschaftlichen Zeitschriften, um die Forschungsergebnisse des Instituts zum einen stärker in die wissenschaftliche Diskussion einzubringen, zum anderen aber auch einer regelmäßigen wissenschaftlichen Qualitätskontrolle zu unterziehen.

V.7. Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung (ZAE Bayern), Würzburg

A. Ausgangslage

1. Gründung und Aufgaben

Das Bayerische Zentrum für Angewandte Energieforschung (ZAE Bayern) wurde 1991 als gemeinnütziger Verein mit Sitz in Würzburg gegründet. Zweck des Vereins ist die Förderung der angewandten Energieforschung mit dem Ziel der Entwicklung energiesparender Techniken und Konzepte sowie die Erschließung regenerativer Energiequellen. Ein wichtiges Ziel ist die praktische Anwendung wissenschaftlicher Erkenntnisse; zu diesem Zweck werden Kooperationen mit Wirtschafts- und Industrieunternehmen, Forschungseinrichtungen und Hochschulen angestrebt.

2. Organisation und Ausstattung

Der Verein unterhält ein Forschungsinstitut mit vier Abteilungen in München, Erlangen und Würzburg, die untereinander vernetzt und jeweils über Kooperationsverträge mit den Universitäten in diesen Städten verbunden sind.

Jede Abteilung untersteht einem wissenschaftlichen Leiter, der Lehrstuhlinhaber an der benachbarten Universität ist, und einem Abteilungsleiter, der die laufenden Projekte betreut. Entscheidungen, die das Gesamtinstitut betreffen, werden im Rahmen von Vorstandssitzungen behandelt, an denen neben dem Vorstand, der sich aus den wissenschaftlichen Leitern zusammensetzt, auch die Abteilungsleiter teilnehmen. Ein Kuratorium, welches zwölf Mitglieder aus den Bereichen Forschung, Wirtschaft, öffentliches Leben und Ministerialverwaltung umfaßt, berät das ZAE Bayern bei der Ausrichtung und Gewichtung seiner Aktivitäten.

Das ZAE Bayern wird seit seiner Gründung durch die Fraunhofer-Management-Gesellschaft (FhM), München, in den Bereichen Unternehmensplanung, Personal, Wirtschaft und Beschaffung administrativ betreut. Die FhM handelt im Namen und

auf Rechnung des ZAE. Mitarbeitern des ZAE obliegt die Akquisition und Beantragung von Projekten, fachliche Planung, Öffentlichkeitsarbeit sowie die Betreuung der Arbeit von Vorstand, Kuratorium und Trägerverein.

2.2. Haushalt und Personal

Das Haushaltsvolumen des ZAE Bayern betrug im Jahr 1996 10,7 Mio. DM, die zu 100 % auf die Energieforschung entfielen. Die institutionelle Förderung durch das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologie betrug 3,4 Mio. DM; die übrigen 7,3 Mio. DM wurden von unterschiedlichen Drittmittelgebern eingeworben, darunter Industrie (2,3 Mio. DM), Bund (1,9 Mio. DM), Bayerische Forschungsstiftung (1,0 Mio. DM) und Land Bayern (1,0 Mio. DM). Der Betriebshaushalt umfaßte Personalmittel in Höhe von 5,2 Mio. DM und Sachmittel in Höhe von 4,1 Mio. DM; hinzu kamen 1,4 Mio. DM für Investitionen.

Das ZAE Bayern verfügte Ende 1996 über 56 Personalstellen, davon 16 Planstellen. 40 Mitarbeiter wurden aus Drittmitteln finanziert. Insgesamt waren am ZAE 47 Wissenschaftler und 9 Nichtwissenschaftler beschäftigt; der Altersdurchschnitt lag bei etwa 35 Jahren. 8 Wissenschaftler haben einen unbefristeten Arbeitsvertrag. Rechnet man zu den angestellten Mitarbeitern durch Werk- oder Hilfskraftverträge an das ZAE gebundene Mitarbeiter hinzu, so ergibt sich insgesamt eine Beschäftigtenzahl von ca. 90 Personen.

2.3. Infrastruktur und Serviceeinrichtungen

Die Infrastruktureinrichtungen des ZAE dienen ausschließlich der Energieforschung. Intern können sie von allen Abteilungen genutzt werden. Zur externen Nutzung bestehen Kooperationsverträge mit den jeweiligen Universitäten an den Standorten der ZAE-Abteilungen, den Universitäten in Würzburg und Erlangen, der TU München und der LMU München. Doktoranden und Diplomanden am ZAE können die Infrastruktur ohne Einschränkungen und ohne Kostenverrechnung mit den Hochschulen nutzen.

3. Wissenschaftliches Profil

3.1. Energiewissenschaftliche Tätigkeitsschwerpunkte

Das ZAE arbeitet mit vier sich ergänzenden Abteilungen an der Entwicklung energiesparender und emissionsmindernder Techniken und Konzepte sowie an der Erschließung regenerativer Energiequellen. Die Aktivitäten erstrecken sich auf die Bereiche Materialforschung, Komponentenentwicklung sowie Systementwicklung und -analyse.

Abteilung Energieumwandlung und -speicherung, München:

Der Schwerpunkt der Arbeiten in dieser Abteilung liegt auf der Bereitstellung von Wärme und Kälte mittels Absorptionswärmepumpen. Ausgehend von Studien an der TU München beschäftigt sich die Abteilung auch mit der energetischen Nutzung von Biomasse und Reststoffen. Bei der Realisierung von Energiekonzepten leistet das ZAE Hilfestellung durch wissenschaftliche Begleitung, Auswertung und Begutachtung.

Abteilung Wärmedämmung und Wärmetransport, Würzburg:

Die Würzburger Abteilung des ZAE hat sich in enger Kooperation mit dem Physikalischen Institut der Universität Würzburg die Aufgabe gestellt, neuartige hochporöse Materialien herzustellen, sie im Hinblick auf ihre mechanischen, optischen, thermischen und elektrischen Eigenschaften zu charakterisieren und für energietechnische Anwendungen zu optimieren. Von aktuellem Interesse sind hier transparente und opake Wärmedämmungen sowie evakuierte Superisolatoren. In geringerem Umfang beschäftigt sich die Abteilung auch mit Lichtlenksystemen zur direkten Nutzung von Tageslicht zu Beleuchtungszwecken. In den ZAE-Labors wurden eine Reihe von neuen optischen, IR-optischen, akustischen und thermischen Meßverfahren entwickelt, deren Anwendung für die Industrie von Interesse ist.

Abteilung Thermosensorik und Photovoltaik, Erlangen:

Die Arbeitsgebiete Thermosensorik und Photovoltaik sind den am Lehrstuhl Angewandte Physik der Universität Erlangen-Nürnberg vertretenen Schwerpunkten angepaßt. In enger Zusammenarbeit mit der Industrie wurde eine Wärmebildka-

mera auf der Basis von ultradünnen Metallsilizitfilmen entwickelt. Im Bereich Photovoltaik werden neue Herstellungsverfahren entwickelt und Materialcharakterisierungen durchgeführt. Die Abteilung ist eingebunden in mehrere Verbundprojekte des Bayerischen Forschungsverbundes Solarenergie (FORSOL), des BMBF sowie der Bayerischen Forschungstiftung und des Bayerischen Umweltministeriums.

Abteilung Solarthermie und Biomasse, München:

Die Abteilung entwickelt passive und aktive Komponenten für die solare Energienutzung, bewertet sie mit hochentwickelter Meßtechnik und erstellt Konzepte zur rationellen Energieverwendung in Gebäuden sowie zur Einbindung solarthermischer Systeme in die Gebäudehülle. Weitere Schwerpunkte sind die Entwicklung und Integration neuer Speichertechniken für Wärme (z.B. auf Zeolithbasis), die solargestützte Absorptionstechnik zur Raumklimatisierung sowie die Entwicklung spezieller thermischer Solarkollektoren. Methodisch stehen Verfahren der angewandten Thermodynamik und optimierte Verfahrens- bzw. Regelungstechnik im Mittelpunkt.

3.2. Wichtige Forschungsergebnisse

Als die bezüglich ihres Erkenntnisgewinnes und ihrer Verwertbarkeit wichtigsten Forschungsergebnisse der vergangenen fünf Jahre werden vom ZAE genannt:

- Erstellung eines Konzepts zur Erzeugung zusätzlicher Klimakälte am Flughafen München unter Nutzung von Abwärme;
- Systemkonzeption und Aufbau eines thermochemischen Energiespeichers zur Beheizung eines Schulgebäudes zum Lastausgleich im Fernwärmenetz;
- Entwicklung einer Vakuum-Superisolation für einen Latentwärmespeicher zur Nutzung der Abwärme von Automobilen;
- Entwicklung eines Pt/Si-Detektorarrays für eine hochauflösende IR-Kamera und deren Anwendung in verschiedenen Bereichen der Energieforschung.

3.3. Veröffentlichungen, Patente

Mitarbeiter des ZAE haben im Jahr 1996 36 Publikationen und 39 Konferenzbeiträge in begutachteten Zeitschriften veröffentlicht und insgesamt 90 Vorträge gehalten. In den Jahren 1995 und 1996 wurden 18 Patente angemeldet. Insgesamt hat das ZAE bislang 26 Schutzrechte, teilweise zusammen mit Industriepartnern, angemeldet.

3.4. Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen

Der Schwerpunkt der Tätigkeit des ZAE liegt im Bereich der angewandten Energieforschung. Es besteht daher eine enge Zusammenarbeit mit der Industrie, vor allem mit kleinen und mittleren Unternehmen, die eine Vielzahl von Aktivitäten umfaßt. Enge wissenschaftliche Beziehungen, die durch Kooperationsabkommen geregelt sind, unterhält das ZAE zu den Universitäten in München, Erlangen und Würzburg. Die beiden ZAE-Abteilungen in Garching und Würzburg arbeiten auf dem Universitätsgelände. Die Nähe zu den Universitäten ermöglicht einerseits Vorlaufforschung und andererseits eine anwendungsnahe Ausbildung von Diplomanden und Doktoranden. Das ZAE ist auch in größere internationale Projekte eingebunden, so beispielsweise mit dem CNRS/Paris und im Rahmen der EU.

3.5. Lehrtätigkeit und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses

Die Kooperation zwischen dem ZAE Bayern und den Universitäten in Würzburg und Erlangen, der TU München und der LMU München zeigt sich in der großen Zahl von Diplom- und Doktorarbeiten, die am ZAE durchgeführt werden. Im Jahr 1996 wurden 12 Doktoranden, 32 Diplomanden und 4 Praktikanten betreut. Im gleichen Jahr wurden 34 Diplomarbeiten und 7 Doktorarbeiten abgeschlossen. Eine Habilitationsschrift ist abgeschlossen.

In den Jahren 1994 bis 1997 hat das ZAE im Rahmen eines Förderprogramms der bayerischen Elektroindustrie insgesamt 22 Absolventen ausgebildet. Darüber hinaus werden ständig Praktikanten und wissenschaftliche Hilfskräfte beschäftigt.

Neben den wissenschaftlichen Leitern, die im Rahmen ihrer Tätigkeit als Hochschullehrer Lehrveranstaltungen zu energierelevanten Themen halten, bieten auch die Abteilungsleiter des ZAE Seminare an den kooperierenden Hochschulen an.

4. Weitere Entwicklung

Das ZAE Bayern bemüht sich, die bestehenden Forschungsbereiche noch enger zu verzahnen. Mittelfristig ist eine stärkere Vernetzung der Aktivitäten in den Bereichen rationelle Energienutzung (z.B. Wärmedämmung und Architektur) und Nutzung regenerativer Energiequellen (z.B. Solarenergie) geplant. Der synergetischen Einbindung von Partnern soll dabei eine besondere Bedeutung zukommen. Im Rahmen eines Verbundprojekts mit ca. 35 Industriefirmen wird die energetische Sanierung von Altbauten bearbeitet.

B. Stellungnahme

Das ZAE wird seiner Aufgabe, angewandte Energieforschung mit dem Ziel der Entwicklung energiesparender Techniken und Konzepte zu betreiben und dabei den Transfer von Forschungsergebnissen in die praktische Anwendung zu beschleunigen, in besonderem Maße gerecht. Die organisatorische Struktur stellt eine gute Grundlage für die enge Zusammenarbeit mit Universitäten und Wirtschaftsunternehmen an den einzelnen Standorten dar. Der Wissenschaftsrat begrüßt die vielfältigen erfolgreichen Kooperationen mit Industrieunternehmen. Sie tragen zur praxisorientierten Ausrichtung der Forschung sowie zur beschleunigten Umsetzung wissenschaftlicher Erkenntnisse bei.

Die enge Vernetzung der vier Abteilungen mit den Universitäten in München, Erlangen und Würzburg über die Person des jeweiligen wissenschaftlichen Leiters stellt ein wesentliches Konstruktionsprinzip des ZAE dar. Hierdurch erhalten die wissenschaftlichen Arbeiten kontinuierlich Impulse durch die an den Hochschulen betriebene Grundlagenforschung; zudem wird ein hoher Qualitätsstand der einzelnen Projekte sichergestellt.

Die Forschungsergebnisse des ZAE vor allem auf den Gebieten Absorptionskältemaschinen, neue hocheffiziente thermische Isolationssysteme, Thermosensorik, thermische Energiespeicher und solarthermische Systemtechnik haben einen - auch im internationalen Vergleich - sehr hohen Standard. Die gute Ausrichtung dieser Forschung auf breite energiebezogene Anwendungsfelder ist hervorzuheben. Die Materialforschung - vor allem in Würzburg - verspricht erfolgreiche technische Anwendungen auch im Nicht-Energiebereich.

Durch die Betreuung von Doktoranden, Diplomanden und Praktikanten leistet das ZAE einen wesentlichen Beitrag zur praxisbezogenen universitären und nachuniversitären Ausbildung. Hochschulabsolventen sollten jedoch nicht nur auf eine Tätigkeit in Industrieunternehmen vorbereitet, sondern auch zu Ausgründungen ermutigt werden.

Die in Projekten organisierten Forschungs- und Entwicklungsarbeiten des ZAE umfassen die Akquisition und Durchführung von innovativen Kooperationsprojekten mit der Industrie, die Beteiligung an der öffentlich geförderten Verbundforschung sowie die Übernahme von größeren und kleineren Aufträgen aus der Industrie; daneben werden auch frei gewählte Forschungsvorhaben durchgeführt. Die Ergebnisse kommen überwiegend mittelständischen Unternehmen des Energiesektors zugute, die über keine eigenen F&E-Ressourcen verfügen oder diese gezielt in externen Forschungseinrichtungen nachfragen. Die Verteilung auf mehrere Standorte bietet günstige Voraussetzungen für die Zusammenarbeit vor Ort. Industrie- und Verbundprojekte sowie Auftragsforschung machen die Hauptfinanzierungsquelle der Einrichtung aus. Das Forschungsprofil des ZAE ist breit angelegt und umfaßt eine Vielzahl von Aktivitäten. Einerseits trägt dies dazu bei, flexibel den Anforderungen industrieller Nutzer entgegen zu kommen, andererseits besteht jedoch die Gefahr der Zersplitterung in viele Einzelvorhaben mit geringem Auftragsvolumen. In den nächsten Jahren sollte daher eine Konzentration der wissenschaftlichen Aktivitäten angestrebt und der Einstieg in neue Technologien kritisch hinterfragt werden. In diesem Zusammenhang sollte bedacht werden, wie die Finanzierung der Einrichtung langfristig gesichert werden kann. Bei Stabilisierung seiner Grundfinanzierung in Höhe von 30 % kann das ZAE - bei Konzentration seiner Arbeitsschwerpunkte - gut bis optimal weiterarbeiten.

V.8. Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), Stuttgart

A. Ausgangslage

1. Gründung und Aufgaben

Das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW) ist eine im Jahr 1988 auf Initiative des Landes Baden-Württemberg unter Beteiligung der Universitäten Stuttgart und Ulm, des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) und mehrerer Unternehmen gegründete gemeinnützige Stiftung bürgerlichen Rechts. Stiftungszweck sind Forschung und Entwicklung im Bereich der Sonnenenergienutzung und Wasserstofftechnologie in Abstimmung mit der universitären und außeruniversitären Forschung sowie die Förderung der Forschung auf diesen Gebieten durch Umsetzung der erarbeiteten Ergebnisse in die industrielle Praxis.

2. Organisation und Ausstattung

2.1. Organisation

Der operative Bereich des ZSW ist gegliedert in die Geschäftsführung sowie die Geschäftsbereiche Photovoltaik, Solarthermie und Elektrochemische Speicher und Wandler. Den Geschäftsbereichen sind verschiedene Fachgebiete zugeordnet; das Fachgebiet Systemanalyse untersteht als Querschnittseinheit zur Koordination fachübergreifender Projekte direkt der Geschäftsführung. Die Leiter der Geschäftsbereiche bilden zusammen mit einem geschäftsführenden Mitglied den Vorstand des Zentrums. Ein Kuratorium, das sich aus Vertretern von Wissenschaft, Wirtschaft und Verwaltung zusammensetzt, legt die Grundsätze für die Arbeit der Stiftung fest und überwacht deren Einhaltung. Die Geschäftsleitung und die Geschäftsbereiche Photovoltaik und Solarthermie sind in Stuttgart, der Geschäftsbereich Elektrochemische Speicher und Wandler ist in Ulm angesiedelt.

2.2. Haushalt und Personal

Die Grundfinanzierung des ZSW betrug 1996 8,2 Mio. DM. An Drittmitteln wurden zusätzlich ca. 11,5 Mio. DM eingeworben, darunter 4,4 Mio. DM aus der Industrie, 4,0 Mio. DM vom Bund und jeweils rund 1,5 Mio. DM vom Land und der Europäischen Union. Alle Mittel entfielen auf die Energieforschung (einschl. Verwaltung, Infrastruktur etc.).

Im Jahr 1996 standen nach Personenjahren 51,5 Stellen aus der Grundausrüstung zur Verfügung, darunter 27 für Wissenschaftler. Mit Drittmitteln sind nach Personenjahren insgesamt 37 Mitarbeiter finanziert worden, davon 22,5 Wissenschaftler und 14,5 nichtwissenschaftliche Mitarbeiter. Der Geschäftsbereich Photovoltaik beschäftigt knapp die Hälfte der Wissenschaftler des ZSW (34,5). Im Geschäftsbereich Elektrochemische Speicher und Wandler sind 25, im Geschäftsbereich Solarthermie 8, in der Geschäftsführung und im Querschnittsbereich Systemanalyse 13 Wissenschaftler und technische Mitarbeiter tätig. Knapp zwei Drittel der Mitarbeiter auf Planstellen sind 40 Jahre oder jünger, ca. 12 % sind über 50 Jahre alt.

2.3. Infrastruktur und Serviceeinrichtungen

Das ZSW verfügt über ein Photovoltaik-Testfeld in Widderstall bei Merklingen, auf dem vor allem Langzeit-Tests durchgeführt werden, und über ein wärmetech-nisches Labor. Einrichtungen zur Oberflächenanalytik, Batterietesteinrichtungen und ein Brennstoffzellen-Teststand werden auch von externen Nutzern in Anspruch genommen. Spezifische Vereinbarungen für Nutzer gibt es nicht.

3. Wissenschaftliches Profil

3.1. Energiewissenschaftliche Tätigkeitsschwerpunkte

Die Tätigkeitsschwerpunkte des ZSW liegen in den Bereichen Photovoltaik und Solarthermie sowie Elektrochemische Speicher und Wandler. In der Photovoltaik stehen materialwissenschaftliche und anlagentechnische Aspekte im Vordergrund.

So werden z.B. spezifische Beschichtungsprozesse durch thermisches Koverdampfen im Vakuum und die Automatisierung von Prozeßtechnologien zur industriellen Fertigung großflächiger Dünnschichtsolarmodule vom Kupfer-Indium-Selenid(CIS)-Typ getestet und Komponenten zur Sonnenenergienutzung mit dem Ziel der Modularisierung der photovoltaischen Systemtechnik untersucht.

Der Einsatz von Materialien für die Elektrochemie (insbesondere von Metalloxiden wie Nickelhydroxid, Oxide mit Perovskitstruktur), praxisnahe Tests von Batterien und die Entwicklung geeigneter Testverfahren stehen im Mittelpunkt der Arbeiten im Geschäftsbereich Elektrochemische Speicher und Wandler.

Die solare Wärmeversorgung für Gebäude und Industrieprozesse und die Nutzung solarthermischer Kraftwerke für die zentrale Stromversorgung in sonnenreichen Ländern werden schwerpunktmäßig im Bereich Solarthermie bearbeitet. Das übergreifende Fachgebiet Systemanalytik beschäftigt sich mit kommunalen und regionalen Klimaschutz- und Energieversorgungskonzepten, mit der Bewertung von Solartechniken und mit Analysen zur Wirtschaftlichkeit und Markteinführung von Energiesystemen.

3.2. Wichtige Forschungsergebnisse

Zu den bedeutendsten Ergebnissen der letzten Jahre im Bereich der Photovoltaik zählt das ZSW u.a. die Entwicklung von Kleinwechselrichtern bis zur Serienproduktionsreife, von Verfahrenstechniken zur Herstellung großflächiger Dünnschichtsolarmodule vom CIS-Typ und von passiven selbstjustierenden Solarnachführungen nach dem Thermohydraulik-Prinzip. Daneben sei die Entwicklung und zum Teil technische Demonstration von Konzepten zur Speicherung erneuerbarer Energien mittels Methanol und zur Nutzung von Biomasse durch Wandlung in Methanol zu nennen. Im Bereich Elektrochemische Speicher und Wandler wird u.a. auf die Syntheseverfahren zur Herstellung dotierter Manganspinelle, den Einsatz von Rutheniumoxiden mit Perovskitstruktur, die Entwicklung eines vielkanaligen, mikrocontroller-gesteuerten Batteriesystems und die Anwendung von Fuzzy-Cluster-Verfahren zur Altersbestimmung von Batterien im PV-relevanten Betrieb

verwiesen. Forschungsergebnisse des Bereiches Solarthermie konnten bei der Ermittlung von Prozeß-Schaltungen hinsichtlich der Minimierung der Stromgestehungskosten und CO₂-Vermeidung und bei der Konstruktion des Receivers für das PHOEBUS-Turm-Solarkraftwerk umgesetzt werden.

3.3. Veröffentlichungen, Patente

Die Mitarbeiter haben in den Jahren 1994 bis 1996 insgesamt rund 240 wissenschaftliche Beiträge publiziert, wovon 46 in begutachteten Zeitschriften und 91 in begutachteten Konferenzberichten erschienen. Von den im gleichen Zeitraum angemeldeten 13 Patenten wurden 6 bereits erteilt.

3.4. Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Beteiligung an internationalen Forschungsprojekten

An rund der Hälfte der Projekte des ZSW sind Partner aus der Industrie beteiligt. Weitere wichtige Kooperationspartner sind Universitäten (u.a. in Stuttgart und Ulm) und außeruniversitäre Einrichtungen (z.B. DLR, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, Institut für Solare Energieversorgungstechnik, Hahn-Meitner-Institut). Ein Teil der Arbeiten wird mit ausländischen Partnern (u.a. europäische Energieversorgungsunternehmen, Konsortien der europäischen Batteriehersteller bzw. Automobilindustrie) realisiert. Das ZSW ist Mitglied im Forschungsverbund Sonnenenergie.

3.5. Lehrtätigkeit und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses

Am ZSW werden jährlich zwischen 20 und 30 Studien- und Diplomarbeiten betreut, durchschnittlich zehn Praktikanten in verschiedenen Fachrichtungen ausgebildet und gegenwärtig neun Dissertationen begleitet.

Das ZSW veranstaltet Seminare für Architekten und Installateure sowie Schulungen zur Kraft-Wärme-Kopplung. Daneben bieten Mitarbeiter des ZSW Lehrveranstaltungen u.a. an den Universitäten Stuttgart (Lichtquellen) und Ulm (Elektrochemie), an der Fachhochschule Ulm (Elektrochemische Energietechnik) und der

Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (Alternative Energieerzeugung mit Brennstoffzellen) sowie an den Berufsakademien Horb und Stuttgart an.

4. Weitere Entwicklung

Das ZSW plant den Ausbau der Entwicklung und Vermarktung von Produkten und Dienstleistungen und eine stärkere Ausrichtung der Arbeitsschwerpunkte auf attraktive, aber bisher nicht schwerpunktmäßig bearbeitete Technologien wie Biomasse oder Kraft-Wärme/Kälte-Kopplung. Es strebt die Akkreditierung als Batterie-Testinstitut an. Auf verschiedenen Gebieten (solare Wärmeversorgung von Gebäuden, solarthermische Kraftwerke, Solarthermie für sonnenreiche Länder, rationelle Energienutzung) sollen wissenschaftlich-technische Dienstleistungen angeboten werden.

Um den Rückgang öffentlicher Fördermittel auszugleichen, sollen vermehrt Drittmittel aus der Privatwirtschaft im Rahmen von Auftragsforschung und Dienstleistungen eingeworben werden. Zur Unterstützung der Vermarktung innovativer Entwicklungen soll verstärkt Risikokapital eingesetzt werden.

B. Stellungnahme

Aufgabe des Zentrums für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung ist der Transfer der Ergebnisse öffentlich geförderter Forschung auf dem Gebiet der Solarenergie- und Wasserstoffnutzung in die kommerzielle Praxis. Seine Konzeption, die anwendungsorientierte Forschung mit der Fortentwicklung im Labormaßstab getesteter Technologien zur Fertigungsreife und Beratungs- und Serviceleistungen für Hersteller, Anwender und Nutzer von Solarenergie- und Wasserstoffsystemen verbindet, bietet gute Voraussetzungen für die angestrebten Transferleistungen. Die Wirksamkeit der Arbeit des ZSW an der Schnittstelle von universitärer und außeruniversitärer Forschung mit der industriellen Anwendung wird durch die Einbindung von Wirtschaft und Industrie in die Leitungsgremien des ZSW unterstützt.

Beispielhaft für gelungenen Transfer sind die Arbeiten auf dem Gebiet der Technologieentwicklung für Dünnschicht-Solarmodule vom CIS-Typ, in deren Rahmen das

ZSW mit Beteiligung eines Herstellers die am Institut für Physikalische Elektronik der Universität Stuttgart erprobten Prozesse erfolgreich zu fertigungsrelevanten Verfahren weiterentwickelt hat. Positiv zu bewerten ist auch die Zusammenarbeit mit der Universität Ulm und verschiedenen Unternehmen bei der Materialentwicklung für elektrochemische Speicher und Wandler und der Erprobung relevanter Testverfahren. Diese führten u. a. zur marktreifen Entwicklung von Testsystemen für Batterien. Im Bereich der Solarthermie hat das ZSW in Kooperation mit Unternehmen und anderen Forschungseinrichtungen eine Versuchsanlage zur Direktverdampfung in Parabolrinnen-Kraftwerken konzipiert, die in Spanien errichtet wird. Es leistet wissenschaftliche Unterstützung bei der praktischen Erprobung von Niedertemperaturanwendungen bei der solaren Nahwärmeversorgung.

Angesichts des hohen Anteils anwendungsorientierter Forschung im vorwettbewerblichen Bereich an der Arbeit des ZSW, die die Grundlage der erfolgreichen Produkt- und Verfahrensentwicklung bildet, ist das Engagement des Landes Baden-Württemberg und anderer öffentlicher Geldgeber bei der Finanzierung der Einrichtung weiterhin notwendig. Der Wissenschaftsrat empfiehlt dem ZSW jedoch, sich um eine verstärkte Einwerbung von Drittmitteln aus der Industrie zu bemühen, die in den Jahren 1996 und 1997 nur zu rund 15 % zum Gesamtetat beitragen. Durch die Übernahme von Industrieaufträgen kann sich das ZSW einerseits noch stärker mit der aktuellen Bedarfsentwicklung vertraut machen, andererseits werden mögliche Wettbewerbsverzerrungen durch den Einsatz öffentlicher Mittel für die Produktentwicklung vermieden.

Der Wissenschaftsrat empfiehlt dem ZSW weiterhin, sich bei der Fortentwicklung seines Forschungsprogramms auf seine Kernbereiche in der Photovoltaik, Solarthermie und Elektrochemie zu konzentrieren, um seine Kompetenzen auf diesen Gebieten auszubauen. Auch bei der Einwerbung von Drittmitteln sollte auf einen direkten Bezug der Projekte zu den Kernkompetenzen des ZSW geachtet werden.