

Energieforschung als strategischer Sektor der Energiepolitik

von Gerd Eisenbeiß

e-mail: energie@fz-juelich.de

1. Überblick

Die sichere und kostengünstige Energieversorgung der wachsenden Menschheit ist durch zwei Engpässe bedroht: die Verfügbarkeit entsprechender Energiequellen und die Entsorgungskapazität der Umwelt für die Rückstände des Energieumsatzes. Dies gilt global ebenso wie für Deutschland und Europa.

Die kurz- und mittelfristig wirksamen Maßnahmen der Energiepolitik und der Energiewirtschaft reichen zur Lösung der Probleme nicht aus. Eine erfolgreiche Langfriststrategie bedarf daher der Ergänzung durch eine starke Energieforschung.

Wenn wir uns fragen, wo neue Lösungen herkommen können, so lautet die Antwort nicht sofort aus der Energieforschung. Denn die Quelle neuer Möglichkeiten liegt zunächst außerhalb der gezielten Energieforschung, etwa bei der Entwicklung neuer Materialien, neuer Informations-, Kommunikations- und Regelungstechniken oder auch biologischer Verfahren. Energieforschung hat solche neuen Möglichkeiten aufzugrei-

fen und auf ihre Anwendbarkeit für Ziele effizienten Energieeinsatzes oder Kostenreduktion bei neuen Energiequellen hin zu prüfen. So kommen teilweise sehr alte Ideen, wie beispielsweise die der elektrochemischen Stromerzeugung in Brennstoffzellen, 130 Jahre nach ihrer Entdeckung in den Bereich realistischer Umsetzung in Technologie. Umgekehrt gilt es immer wieder, Fragestellungen aus dem Energiebereich an die Grundlagenforschung zurückzugeben, um Probleme gezielt lösen zu können. Mit diesem Verständnis von Energieforschung wird deutlich, welch große Sünde es ist, diese Forschung in der politischen Organisation vom Hauptstrom der Wissensgenerierung abzukoppeln, wie dies in Deutschland seit 1998 passiert ist: So haben wir mittlerweile die folgenden Zuständigkeiten

- zuständig für Energiepolitik und Energieforschung ist federführend der Bundesminister für Wirtschaft und Arbeit
- aber: für die Projektförderung auf dem Gebiet der erneuerbaren Energien und entspre-

chende Fördergesetze ist der Umweltminister zuständig

- der Forschungsminister ist unverändert für die institutionelle Energieforschung zuständig, wie sie insbesondere in den Zentren der Helmholtz-Gemeinschaft beheimatet ist
- ferner sind dem Verbraucherministerium mit der Zuständigkeit für nachwachsende Rohstoffe auch die Biomassefragen anvertraut
- nicht unwichtig für Erprobung und Markteinführung ist dann auch das Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Schwelkenländer bringt.

Diese Meisterleistung deutscher Organisationskunst findet sich in keinem anderen Land.

Bevor wir die großen und kleinen Themen der Energieforschung diskutieren, sei hier die Struktur der Forschungsorganisationen kurz geschildert. Dabei kann kein Überblick über die von der Industrie selbst finanzierte Forschung und Entwicklung gegeben werden, da sie nirgends

erfasst ist; allerdings kann gesagt werden, dass auf dem Gebiet der Energieforschung die Eigenaufwendungen der Wirtschaft bedeutend zurückgegangen sind. Im öffentlichen Bereich stehen etwa eine halbe Mrd. Euro pro Jahr mit leicht abnehmender Tendenz bereit. Davon entfallen gut 40 % auf die sechs Helmholtz-Zentren in Jülich (FZJ), Karlsruhe (FZK), Berlin (HMI), Garching/Greifswald (Max-Planck IPP), Potsdam (GFZ) und in Stuttgart/Köln (DLR). Diese sechs Zentren haben im Jahr 2003 vier gemeinsame Programme vorgeschlagen und sich einer internationalen Begutachtung gestellt. Die vier Programme sind

- Erneuerbare Energien mit Beiträgen aus FZJ, HMI, GFZ und DLR; die Themen sind vor allem photovoltaische Dünnschichttechnik, aber auch solare Kraftwerkstechnik, geothermische Stromerzeugung und Systemanalyse
- Rationelle Energieumwandlung mit Beiträgen aus FZJ, DLR und FZK; die Themen sind Kraftwerkstechnik, Supraleitung und Brennstoffzellen
- Nukleare Sicherheitsforschung mit Beiträgen aus FZJ und FZK; die Themen sind theoretische und experimentelle Sicherheitsanalysen, sowie Entsorgungstechniken
- Kernfusion mit Beiträgen aus dem Max-Planck IPP, FZK und FZJ.

Diesen vier Programmen ist eine jährliche Steigerungsrate von 1 % zugesagt; bei dem politisch vorgegebenen Nullwachstum der beiden nuklearen Programme bedeutet dies etwa 3 % Wach-

tum bei den nicht-nuklearen Programmen. Da wir von einer 1,5 bis 2 %-igen Steigerung der Personalkosten ausgehen müssen, wird also die Helmholtz-Energieforschung real weiter reduziert. Noch stärker ist der reale Rückgang der Projektförderung.

Was aber sind nun die Themen, die in der Forschung angepackt und gestärkt werden müssen, um doch noch rechtzeitig Lösungen für eine nachhaltige Energieversorgung der Zukunft finden zu können?

2.1 Fusionsforschung

Unter allen bekannten Optionen ist nur eine, die eine wirklich neue Energiequelle erschließen könnte; das ist die Kernfusion. Nach den eindrucksvollen Fortschritten dieser Technologie, die vor allem an der gemeinsamen europäischen Testanlage JET in England während der 90er Jahre erzielt worden sind, wird es nun möglich, eine größere, reaktorähnlichere Testanlage zu errichten, die international ITER genannt wird. In dieser Anlage, die etwa fünf Mrd. Euro kosten dürfte, soll ein Plasma gezündet werden, das bis zu acht Minuten brennt und dabei die etwa zehnfache Energie erzeugt gegenüber der, die man als Primärheizung in den Prozess hineinstecken muss.

Gleichzeitig können an dieser Anlage eine ganze Reihe von Technologien erstmals zur Anwendung kommen, die für einen späteren kommerziellen Reaktor entscheidend sind. Zum Beispiel muss ein solcher Reaktor einen Teil seines Brennstoffs während des Betriebes erbrüten, das heißt

die in den Reaktorwänden erfolgende Umwandlung von Lithium in Tritium muss durch eine schnelle Verfahrenstechnik genutzt werden, die das Tritium aus der Wand löst, reinigt und als Brennstoff ins Plasma zurückführt.

Die Fusionsstrategie ist nicht nur durch die Errichtung des Testreaktors ITER, sondern auch durch die weiterhin notwendige Physikentwicklung, Materialforschung und Demonstrationsnotwendigkeit so teuer, dass weder ein einzelner Staat noch auch die Europäische Union gemeinsam stark genug wären. Deshalb ist es ein großer Erfolg, dass auch die USA, Japan, China, Russland und Südkorea die Errichtung von ITER für so wichtig und attraktiv halten, dass sie sich finanziell an der Strategie beteiligen. Damit würde die Errichtung von ITER das größte multinational finanzierte Projekt auf Erden werden.

Da die in ITER zur Anwendung kommende sogenannte Tokamak-Technologie den Nachteil aufweist, keinen vollkontinuierlichen Betrieb zu ermöglichen, wird in Deutschland mit wesentlicher EU-Unterstützung eine Alternativlinie verfolgt, die man Stellarator nennt. Eine entsprechende Versuchsanlage ist in Greifswald im Bau und soll einen kontinuierlichen Fusionsbetrieb demonstrieren. Im Erfolgsfalle beider Testanlagen hofft man in gut zwanzig Jahren vergleichen zu können, welche Technologie geeigneter für die kommerzielle Anwendung sein dürfte. Mit dieser dann auszuwählenden Technologie könnte ein prekommerzielles Demonstrationskraftwerk

errichtet werden, mit dessen erfolgreichem Betrieb man in die kommerzielle Nutzung der Kernfusion eintreten könnte. Dies ist allerdings vor 2050 nicht vorstellbar.

Weil dieser Weg so lang und so teuer ist und der endgültige Erfolg noch keineswegs garantiert werden kann, gibt es insbesondere in Deutschland eine heftige Auseinandersetzung über die Sinnhaftigkeit weiterer Forschungsgelder für die Kernfusion. Die Befürworter eines kräftigen Investments in diese Technologie, zu denen der Vortragende gehört, können aber darauf hinweisen, dass das ungeheuer große Potential, der Menschheit preisgünstige und saubere Energie zu erschließen, die Größe der Aufwendungen rechtfertigt, zumal die Fortschritte die Erfolgshoffnung stützen und die internationale Lastenteilung beispiellos ist.

2.2 CO₂-Sequestration

Eine zweite Option sehr großen Potentials ist die weitere Verwendung von Kohle, die weltweit reichlich und billig zur Verfügung steht. Allerdings kann sie nur dann klimaschonend eingesetzt werden, wenn es gelingt, das Verbrennungsprodukt CO₂ aus dem Umwandlungsprozess zu entfernen und sicher endzulagern. Natürlich ist die Endlagerung der zunächst kritischere Teil einer solchen Kohlestrategie, weil dafür verantwortbare Lösungen nicht gesichert sind. Einen Teil des abgetrennten CO₂ kann man zur Stimulation der Öl- und Gasförderung einsetzen, indem man es in entsprechende Lagerstätten einpresst. Nach heutiger Kennt-

nis werden dann zunächst ausgebeutete Gaslagerstätten als CO₂-Speicher in Frage kommen. Die nächstwahrscheinliche Lösung ist die Verpressung des CO₂ in tiefliegende saline Aquifere. Bei all diesen Endlageroptionen muss sichergestellt sein, dass die Lagerstätten nach oben dicht abgeschlossen sind. Deshalb dürften sich früher diskutierte Entsorgungspfade der Einleitung in tiefe Meeresschichten nicht als verantwortbar herausstellen. Aber dies sind nicht alle denkbaren Möglichkeiten, die heute diskutiert und teilweise bereits in ersten Experimenten erprobt werden. Man kann nicht davon ausgehen, dass eine quantitativ wesentliche CO₂-Endlagerung vor dem Jahr 2025 zur Verfügung steht.

Gleichwohl beginnen bereits heute F&E Arbeiten zur Frage kostengünstiger Abtrennung des CO₂ aus der Kohlenutzung. Dazu gibt es wiederum verschiedene Wege:

- CO₂-Abtrennung aus dem Rauchgas durch Rauchgaswäsche. Dabei wird das CO₂ aus dem Abgas herkömmlicher Kraftwerke mit einer wässrigen Lösung von z.B. Monoethanolamin (MEA) unter Atmosphärendruck herausgewaschen. Der Stoff geht mit dem Kohlendioxid eine chemische Bindung ein, die anschließend durch Erhitzen wieder getrennt werden kann. Nachteilig ist bei diesem Prozess der hohe Wirkungsgradverlust (9 - 12 %) und die großen Mengen des zu behandelnden N₂-reichen Abgases. Pluspunkt dieser Methode ist es, in den Kraftwerkspro-

zess nicht eingreifen zu müssen. Hier gilt es, diesen an sich bekannten Prozess effizienter und wirtschaftlicher zu machen; dabei ist auch zu überlegen, ob es Alternativen zur MEA-Wäsche, etwa durch selektive Membranen, geben kann.

- CO₂ Abtrennung vor der Verbrennung. Dieser Prozess geht zunächst von einer Kohlevergasung aus, wie sie bereits in Demonstrationskraftwerken zur Anwendung gekommen ist. Dabei wird die Kohle durch Zufuhr von Sauerstoff und Wasserdampf bei Temperaturen von 1000 °C unter vollem Prozessdruck in ein Synthesegas umgewandelt, das hauptsächlich aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff besteht. Das Kohlenmonoxid wird in einem weiteren Schritt zu Kohlendioxid und Wasserstoff umgewandelt (Shiftreaktion). Das konzentrierte CO₂ wird dann in kaltem Methanol absorbiert, in dem sich unter Druck große Mengen CO₂ lösen, die durch plötzliche Entspannung dann wieder freigesetzt werden. Durch die Gastrennung tritt ein Wirkungsgradverlust von 5 - 6 % auf. Der Prozess ist durch hohe Investitionskosten geprägt, bietet aber auch Vorteile, indem er die Produktion von Wasserstoff eröffnet und den hocheffizienten kombinierten Gas- und Dampfturbinenprozess für die Kohlenutzung erschließt. Auch hier sind alternative Druckwechselprozesse und selektive Membrane zur CO₂-Abtrennung wichtige Forschungsthemen.

- Verbrennung mit reinem Sauerstoff. Bei einem solchen Prozess muss der Stickstoff der Luft vor der Verbrennung abgetrennt werden und der Verbrennungsprozess durch teilweise Rückführung des CO₂ in beherrschbaren Temperaturbereichen gehalten werden. Bei diesem Kraftwerksprozess muss noch am meisten Entwicklungsarbeit geleistet werden. Ein Prototyp existiert derzeit nicht. Der errechnete Wirkungsgradverlust bei diesem Kraftwerkstyp ist gering, da es im Hinblick auf die CO₂-Separierung ausgelegt wurde. Andererseits stellen sich bei diesem Prozess eine Fülle von neuen Fragen, unter anderem an die Werkstoffe, die Verbrennungsführung sowie an die Turbinen.

2.3 Kernenergie

Auch wenn wir in Deutschland den Ausstieg aus der Kernenergie gesetzlich geregelt haben, muss auf die großen Chancen einer Weiterentwicklung der Kerntechnik verwiesen werden. Da ist zum einen die Entwicklung von Reaktoren der vierten Generation, die durch absolute Sicherheit gegen Kernschmelzen und überhaupt katastrophale Freisetzung von Radioaktivität gekennzeichnet sind. Das verbleibende Restrisiko besteht dann allerdings immer noch in der Freisetzung radioaktiven Inventars bei terroristischer und kriegerischer Zerstörung; vielleicht muss man deshalb auch nochmals über unterirdische Bauweisen nachdenken. Schon die „normale“ Entsorgung abgebrannter Brennele-

mente stellt noch eine Fülle von Forschungsaufgaben in der Abfallbehandlung und der über historische Zeiträume zu garantierenden Endlager-Sicherheit. Zu erforschen sind allerdings auch Strategien der Abfallminimierung durch Anwendung neuer Reaktorprinzipien und der Transmutation, das heißt der Umwandlung der langlebigsten hochradioaktiven Rückstände in weniger toxische Nuklide mit bedeutend kürzerer Halbwertszeit.

Das Potential einer Transmutationsstrategie besteht darin, für die transmutierten Rückstände schon nach etwa 1000 Jahren ein Gefährdungsniveau erreichen zu können, wie es auch dem aus der Natur gewonnenen Brennstoff zukommt. Allerdings ist auch für diesen Weg, der einer mehrfachen Wiederaufarbeitung und Auftrennung der Abfälle bedarf, der Erfolg noch lange nicht garantierbar. Ein positives Ergebnis wäre allerdings so wertvoll, dass ein sehr hoher Forschungsaufwand gerechtfertigt erscheint.

2.4 Erneuerbare Energien und Wasserstoff

Bei den erneuerbaren Energien geht es durchweg darum, die Kosten der heute schon funktionierenden Systeme zu senken. Ein Teil dieser Aufgabe wird gerade in Deutschland durch die üppige finanzielle Unterstützung ihrer Anwendungen geleistet, indem auf der Herstellerseite eine industrielle Massenproduktion ermöglicht wird. Zugleich gibt es aber eine Fülle von Ideen und Möglichkeiten, neuartige Lösungen zu entwickeln, so dass For-

schung in ihrer ganzen Breite benötigt wird – das heißt von der Grundlagenforschung bis zur Technologie. Noch immer besonders teuer ist die solare Kilowattstunde aus photovoltaischen Zellen. Hier geht es unter anderem in der Forschung um Wege zu höheren Wirkungsgraden, geringerem Materialeinsatz durch Dünnschichttechniken und effizientere Abscheideverfahren. Andererseits sind alternative photovoltaische Materialien zu untersuchen, neben Halbleitern also auch Polymere und organische Solarzellen.

Auf dem Gebiet der Windenergie müssen vor allem die Probleme der Offshore-Anwendung bei Werkstoffen und Komponentenzuverlässigkeit kostengünstig gelöst werden. Bei der Geothermie ist nach wie vor die Verminderung des Bohrrisikos kostenrelevant; noch immer können wir nicht sicher sagen, ob die sogenannte Hot-Dry-Rock-Technik an vielen Stellen der Erde erfolgreich eingesetzt werden kann; bei dieser Technik kommt es darauf an, in der Tiefe von einigen tausend Metern möglichst trockenes Gestein so aufzubrechen, dass ein Rissystem entsteht und einen unterirdischen Wärmetauscher bildet. Damit kann kaltes Wasser über eine Injektionsbohrung in die Tiefe durch den künstlichen Wärmetauscher geleitet werden, heizt sich auf und wird mittels Produktionsbohrung einem Kraftwerksprozess zugeleitet.

Natürlich hängt die Möglichkeit, Strom zu produzieren, vom Temperaturniveau des aufgeheizten Wassers ab. Insofern

kann es zumindest keine billige Stromerzeugung werden, wenn man niedertemperaturige Erdwärmereservoirs wie in Neustadt-Glewe zur Stromerzeugung nutzen will. Immerhin kann man niedertemperaturige Erdwärme in Norddeutschland ebenso wie in Oberbayern zur Heizung von Gebäuden nutzen.

Die Biomasse, von der schon die Rede war, stellt wegen ihrer vielfältigen Verwertungspfade auch vielfältige Forschungs- und Entwicklungsaufgaben. Von der Fermentation über Pyrolyse und Vergasung bis hin zur sauberen Verbrennung. Auch hier ist vieles im Prinzip und an Prototypen gezeigt, aber ohne weitere Forschung und Entwicklung nicht wirklich anwendbar. Oft geht es auch noch darum, die jeweils optimalen Verwertungspfade sicher zu identifizieren: Dabei geht es insbesondere um die Frage, ob die teilweise langen Konversionspfade von Biomasse zu Biokraftstoffen ökonomisch und ökologisch effizienter sind als schlichte Verbrennung. Wegen des Problems, für Energiepflanzen genügend Land und Wasser verfügbar zu haben, kommt der Züchtung von schnellwachsenden Pflanzen mit hohem Brennwert besonders dann große Bedeutung zu, wenn diese auf Böden gedeihen, die für Nahrungsmittelproduktionen definitiv ungeeignet sind (zum Beispiel stark versalzten Böden). Darüber hinaus gehen die Forschungsthemen bis in die Gentechnik, um biotechnologische Verwertungspfade zu verbessern.

2.5 Energieeinsparung

Energieeinsparung und rationaler Umgang mit Energie sind ein weiteres wichtiges Forschungsfeld. Man kann dabei unterscheiden zwischen

- der Fülle möglicher Geräte- und Prozessinnovationen im Anwendungsbereich Industrie und Haushalte
- der Energieeffizienz von Gebäuden
- der Effizienzsteigerung von Umwandlungsprozessen, insbesondere der Stromproduktion.

Im Falle energiesparender Produkte und Prozesse, angefangen von energiesparenden Leuchten und Kühlschränken bis zu neuartigen Trennverfahren wird es ganz überwiegend Sache der Industrie bleiben, die entsprechenden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten durchzuführen und zu finanzieren. Dabei werden Forschungsinstitute und staatliche Projektförderung nur in Ausnahmefällen Hilfestellung leisten müssen. Bei der Energieeffizienz von Gebäuden, also insbesondere ihrer Wärmeisolation, ihrer Heizung und ihrer Klimatisierung, sind Forschung und Entwicklung weit fortgeschritten. Viele Demonstrationsbauten zeigen bereits, wie weit der Energieverbrauch eingeschränkt werden kann auch unter Berücksichtigung der Solargewinne, die man auf intelligente Weise einbeziehen kann. Für Neubauten stehen also Lösungen bereit, die im Laufe der nächsten Jahrzehnte zu radikalen Einsparungen führen werden. Gleichwohl kommen aus der Grundlagenforschung, zum Beispiel der Nanotechnik, immer wieder neue

Ideen auf, Fenster und Gebäudehülle noch effizienter zu gestalten. Hier gibt es einige tüchtige Forschungsinstitute, insbesondere in der Fraunhofer-Gesellschaft, die auch weiterhin kräftig unterstützt werden sollten.

Bei der Effizienzsteigerung der Kraftwerke stellen sich allerdings deutlich anspruchsvollere Aufgaben. Hier geht es entsprechend der Thermodynamik in erster Linie um höhere Prozesstemperaturen und Dampfzustände, um die Wirkungsgrade zu steigern. Eine Kardinalfrage ist die Entwicklung und Erprobung von Hochtemperaturmaterialien sowie eine saubere Verbrennungsführung bei wechselnden Brennstoffqualitäten. Möglich erscheint eine weitere Steigerung der Wirkungsgrade bei Braunkohlekraftwerken durch Vortrocknung des Brennstoffs um weitere zwei Prozentpunkte auf 45 % sowie Verbesserung bei Kohledampfkraftwerken durch Steigerung der Dampftemperatur auf über 700 Grad Celsius und entsprechenden Druck von 375 bar. Diese Forschungsstrategie braucht neue Referenzkraftwerke, um das integrale Funktionieren aller Innovationen zu demonstrieren. Im Hinblick auf den Neubaubedarf von 40 Gigawatt in Deutschland und 200 Gigawatt in Europa in den nächsten zwei Jahrzehnten sind diese Aufgaben dringlich und nicht billig. Ein Erfolg wäre allerdings von großer industriepolitischer Bedeutung für die Kraftwerkshersteller. Bei den Gasturbinenkraftwerken geht es auch um eine Verbesserung der Turbomaschinen, zum Beispiel durch Einsparung von Kühlluft,

um auf diese Weise Spielraum für eine schadstoffarme Hochtemperaturverbrennung zu gewinnen. Auf diese Weise könnten Gas- und Dampfturbinenkraftwerke ihre Wirkungsgrade deutlich über 60 % hinaus steigern. Solche Effizienzgewinne würden es auch leichter hinnehmbar machen, bei einer CO₂-Abtrennung wiederum auf etwas Effizienz zu verzichten.

Eine andere Basistechnologie, die große Bedeutung für den rationalen Umgang mit Elektrizität

erhalten dürfte, ist die Supraleitung, die es erlaubt, Strom fast verlustfrei zu transportieren und zu speichern. Insbesondere geht es um den technischen Einsatz der Hochtemperatursupraleiter, da diese eine Reduktion des Kühlaufwandes ermöglichen.

Damit sind wir bei der Querschnittsfrage der Energiespeicherung. Es ist festzustellen, dass hier weder für die Wärmespeicherung noch für die Strom- und Wasserstoffspeicherung befriedigende Lösungen vorliegen. Al-

lerdings ist auch festzustellen, dass überwältigende neue Ideen ebenfalls fehlen. Die Förderpolitik sollte also einen starken Anreiz bieten, solche neuen Ideen zu generieren, zu präsentieren und wissenschaftlich aufzuarbeiten. ■