# Energieforschung heute : ein Blick in die Zukunft

Autor(en): **Speiser, Ambros P.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **88 (1997)**

Heft 1

PDF erstellt am: **23.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-902160

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

**Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

**http://www.e-periodica.ch**

Energieforschung gibt es schon so lange wie die Technik überhaupt. Wenn auch andere Forschungsthemen heute stärker im Rampenlicht stehen, so beeinflusst sie doch unsere Zukunft ebenso unmittelbar. Viele Energieprobleme stehen vor einer kürzer- oder längerfristigen Lösung. Für zwei Probleme, die eng mit der Energieversorgung zusammenhängen – das ungehemmte Bevölkerungswachstum und die progressive $CO_2$-Anreicherung der Atmosphäre, die eine untragbare Erwärmung des Erdklimas zur Folge haben könnte –, müssen hingegen noch gangbare Wege gefunden werden.

# Energieforschung heute

## Ein Blick in die Zukunft

■ Ambros P. Speiser

Forschung auf dem Energiegebiet gibt es, seit es die Technik gibt. Die Erfindung der Dampfmaschine war ein Stück Energieforschung ebenso wie die Entwicklung des Automotors, die Entwicklung der Elektrizitätsversorgung, der Raffination von Erdöl. Aber der Begriff Energieforschung, wie wir ihn heute verwenden, existiert noch gar nicht so lange. Ein Markstein in der Wahrnehmung der Gebiete, die man mit Energieforschung bezeichnet, waren die Ereignisse des Jahres 1973. Diese Ereignisse werden oft unter dem Namen Energiekrise zusammengefasst; sie wurden ausgelöst durch Beschlüsse der Opec, die Preise für Erdöl drastisch zu erhöhen. Der Bewusstseinswandel, der dadurch ausgelöst wurde, war enorm. Schlagartig wurde den Mitmenschen bewusst, dass die Ressourcen der Erde begrenzt sind, ebenso die Fähigkeit der Umwelt, Abfallstoffe aufzunehmen. Und erst damals begann man, unter dem Begriff Energie, mit dem man bisher hauptsächlich die Elektrizität bezeichnet hatte, alle Formen der Energie zu verstehen; erst seit 1973 ist es eine Selbstverständlichkeit, dass zum Begriff Energie auch die fossilen Quellen gehören, also Kohle, Erdöl und Erdgas.

Wann haben die Menschen begonnen, die Energie im grossen Massstab zu nutzen, um ihre eigenen Lebensverhältnisse zu verbessern? Dieser Beginn lässt sich datieren: es ist die Erfindung der Dampfmaschine durch James Watt im Jahr 1765. In den nachfolgenden zwei Jahrhunderten stieg die Nutzung der Energiequellen steil an, es trat die Elektrizität hinzu, und grosse Sorgen machte man sich nicht – bis zum schicksalsschweren Tag im Oktober 1973, der manchmal (und reichlich ungenau) auch «Tag von Kuwait» genannt wird. In der Zwischenzeit liegen 208 Jahre, die man als das Zeitalter der sorglosen und billigen Energie bezeichnen kann. Diese Zeit kam abrupt zu Ende, und sie wird mit Sicherheit nicht wiederkehren.

### Die gegenwärtige Energiesituation – eine Übersicht

Die Forschung hat die Zukunft im Visier: Sie möchte die Welt verändern; sie ist die Kraft, die verhindert, dass sich die Geschichte wiederholt, und an den Forschungsschwerpunkten kann man ablesen, wie die Welt im nächsten Jahrhundert aussehen wird. Aber ob der Zukunft kann man nicht über die Gegenwart hinwegsehen. Wir alle möchten die Welt verbessern. Aber um einen Plan für die Verbesserung der Welt zu erstellen, muss man eine Bestandesaufnahme des Vorhandenen vornehmen – auch wenn man mit dem Vorhandenen unzufrieden ist –, sonst fehlt dem Vorgehen der Realitätssinn. Weltverbesserer haben manchmal die Tendenz, diesen einfachen Zusammenhang zu übersehen!

Überarbeitete Fassung eines Referats, gehalten im Wissenschaftshistorischen Kolloquium an der Universität und der ETH Zürich

**Adresse des Autors**
Prof. Dr. h. c. *Ambros P. Speiser*
Sonnhalde 9, 5400 Baden

Weit über neun Zehntel des weltweiten Energiebedarfs werden durch die fünf grossen Primärquellen gedeckt: Kohle, Erdöl, Erdgas, Wasserkraft und Kernbrennstoff. Alle übrigen Quellen wie Sonne, Erdwärme, Wind machen nur wenige Prozente aus. Die Elektrizität figuriert nicht auf dieser Liste; sie ist keine (Primär-)Quelle, die uns die Natur zur Verfügung stellt, sie muss in Kraftwerken hergestellt werden. Dafür werden alle fünf grossen Primärquellen beigezogen, in der Schweiz freilich (mit ganz kleinen Ausnahmen) nur die Wasserkraft und der Kernbrennstoff.

Für eine realistische Beurteilung der Zukunft muss man sich einige Zahlen einprägen, sonst läuft man Gefahr, grossartige Hoffnungen auf eine Neuerung zu setzen, die in Wirklichkeit nur sehr bescheidene Möglichkeiten enthält. Solche Zahlen sind der Anteil der Primärquellen am Energieverbrauch (Tabelle I), der Anteil der Quellen an der Elektrizitätserzeugung (Tabelle II) und die Verteilung der Nutzenergie auf die verschiedenen Energieformen (Tabelle III). Diese Zahlen darf man nicht aus den Augen verlieren, wenn man über irgendwelche Energiemassnahmen spricht – sei es Sparen, Forschen oder Subventionieren –, sonst riskiert man, falsche Proportionen zu sehen. Heizung und Warmwasser machen ungefähr die Hälfte unseres nationalen Energieverbrauchs aus, das Licht etwa ein halbes Prozent, oder, bezogen auf die Elektrizität, zwei Prozent. Jede Massnahme – zum Beispiel ein Sparaufruf – hat in der Heizung ein viel grösseres Gewicht als in der Beleuchtung! Und noch ein anderer Zusammenhang ist wichtig: Für grosse Energieumsätze braucht es grosse Anlagen, also Anlagen, deren Gebrauchsdauer 20 oder auch 50 Jahre beträgt, man denke an Wohn- und Geschäftsbauten oder an Elektrizitätswerke. Schon aus diesem Grund sind schnelle Änderungen und Erneuerungen, auch wenn sie noch so wünschbar erscheinen, einfach nicht möglich.

| Primärquelle | Anteil [%] |
|---|---|
| Heizöl | 42 |
| Benzin | 21 |
| Gas | 11 |
| Total fossile Quellen | 74 |
| Wasserkraft | 13 |
| Kernbrennstoff | 8 |
| Total für Elektrizität | 21 |
| Kohle und übrige | 5 |
| Total | 100 |

**Tabelle I** Anteil der Primärquellen am Energieverbrauch in der Schweiz

| Primärquellen | Schweiz [%] | Europa [%] |
|---|---|---|
| Kohle | 0 | 35 |
| Erdgas | 0 | 15 |
| Erdöl | 2 | 10 |
| Wasserkraft | 59 | 16 |
| Kernbrennstoff | 39 | 24 |
| Übrige | <1 | <1 |
| Total | 100 | 100 |

**Tabelle II** Anteil der Primärquellen für die Elektrizitätserzeugung

| Nutzenergie | Anteil [%] |
|---|---|
| Licht | 0,5 |
| Chemie | 0,7 |
| Mechanische Arbeit | 23,6 |
| Wärme | 75,2 |
| Total | 100 |

**Tabelle III** Verteilung der Nutzenergie in der Schweiz

## Sonderstellung der Solarenergie

Fragt man Personen, die der Technik nicht besonders nahestehen, die aber das Schicksal unserer Welt mit wacher Aufmerksamkeit verfolgen, was sie unter Energieforschung verstehen, so wird fast immer zuerst die Sonnenenergieforschung genannt. Die Sonnenenergie hat eine Sonderstellung, was die Sympathie der Mitmenschen angeht.

### Solarthermische Anlagen

Die Sonnenenergie kann auf verschiedene Arten genutzt werden. Solarthermische Anlagen verwenden Sonnenkollektoren, in denen Wasser zirkuliert, das aufgewärmt wird; es kann zur Aufbereitung von Warmwasser oder zur Raumheizung verwendet werden. Solche Anlagen werden hauptsächlich als Kleinanlagen gebaut. Sie sind kostengünstig und betriebssicher, dementsprechend sind sie weit verbreitet. Wegen ihrer Anspruchslosigkeit eignen sie sich auch zur Anwendung in Entwicklungsländern.

In eine andere Klasse fallen die Anlagen, in denen ein grosses Feld von Spiegeln, die dem Lauf der Sonne nachgeführt werden, die Strahlung auf einen Dampferzeuger konzentrieren, der dann eine Turbine für die Elektrizitätserzeugung speist. Es existieren etliche solche Anlagen; sie sind aber Einzelausführungen geblieben, und an eine wirtschaftliche Nutzung ist kaum zu denken: Zwar ist die Sonnenenergie gratis, aber die Anlagekosten sind hoch, ebenso die Aufwendungen für den Betrieb (man denke an den Unterhalt der komplizierten Steuerungen der Spiegel).

### Photovoltaische Anlagen

Anders sind die photovoltaischen Anlagen zu beurteilen. In ihnen werden Sonnenzellen (Siliziumhalbleiter-Bauelemente) dazu verwendet, um die Sonnenstrahlung direkt in elektrische Energie zu verwandeln, ohne Umweg über eine Maschine. Diese Technik ist zu hoher Reife entwickelt und hat sich im harten praktischen Einsatz vielfach bewährt: Die Stromversorgungen für die Nachrichtensatelliten verwenden Sonnenzellen. Die Verhältnisse dort oben sind ideal – die Sonne scheint immer, und keine Atmosphäre schwächt die Strahlen. Aber auch auf der Erde finden Sonnenzellen vielfältigen Einsatz, in Kleinstanlagen etwa für die Versorgung isolierter Standorte von Berghütten oder von Nottelefonen (Bild 1). Es werden aber auch grössere Anlagen gebaut. Die Eidgenossenschaft fördert die Sonnenenergie mit mehr als 5 Millionen Franken pro Jahr, und die Zahl der photovoltaischen Anlagen hat in den letzten zwei Jahren erheblich zugenommen (Bild 2). Vorläufig sind solche Anlagen teuer; der aus ihnen stammende Strom ist noch nicht konkurrenzfähig, aber mit fortschreitender technischer Entwicklung könnte durchaus eine Annäherung erfolgen.

**Bild 1** Stromversorgung eines isolierten Standortes

Dieses aktive Richtstrahl-Relais zwischen den Stationen Stalvedro und Gesero wird durch Photovoltaik autonom versorgt (Bull. SEV/VSE 7/96, S. 9).

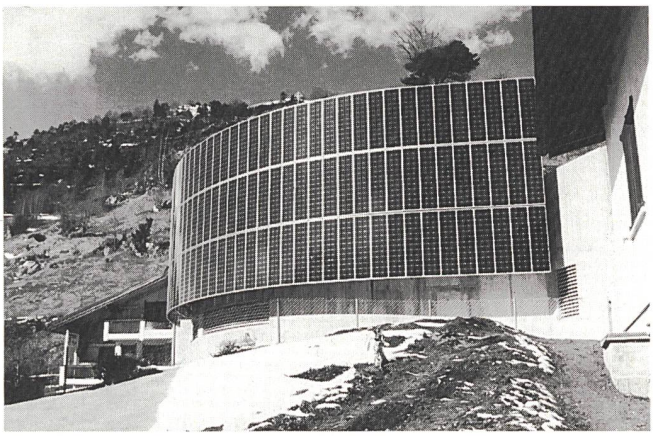

**Bild 2 Strom aus Walliser Sonne**

Diese unkonventionelle Photovoltaik-Anlage in Ausserberg VS nutzt die Aussenfassade des Gebäudes zur Erzeugung von elektrischer Energie (Foto Fabrimex AG).

**Solararchitektur**

Eine weitere, wichtige Art der Sonnennutzung wird durch den Namen Solararchitektur gekennzeichnet, also eine Gestaltung von Gebäuden in einer solchen Weise, dass die Sonne als Licht- und Wärmequelle viel stärker als bisher einbezogen wird. Die Einsparungen, die auf diese Art erreicht werden könnten, sind erheblich. Konsequente Solararchitektur kann freilich nur in Neubauten verwirklicht werden, ein Umbau von bestehenden Gebäuden ist nur sehr begrenzt möglich; daher wird dieses Sparpotential erst über einen Zeitraum von mehreren Jahrzehnten ausgeschöpft werden können.

**Das grundlegende Problem – die geringe Energiedichte der Sonnenenergie**

Eine gemeinsame Einschränkung aller Nutzungsarten der Sonnenenergie ist die bescheidene Energiedichte der Sonnenstrahlung. Obwohl wir uns im Sommer an der Sonne einen gehörigen Sonnenbrand holen können, beträgt die Dichte der Sonnenenergie eben nur etwa ein Kilowatt pro Quadratmeter bei maximaler Einstrahlung. Nimmt man den Wechsel von Tag und Nacht und von trüben und hellen Tagen, ferner den Gang der Sonne im Lauf des Tages und des Jahres hinzu, so reduziert sich (an einem durchschnittlichen Standort in der Schweiz) die Energie, gemittelt über ein ganzes Jahr, auf etwa einen Sechstel dieser Zahl, also auf etwa 170 Watt pro Quadratmeter. Für die photovoltaische Nutzung kommt noch der Wirkungsgrad der Umwandlung hinzu, der bewirkt, dass wiederum nur etwa ein Sechstel der Sonnenenergie in Elektrizität verwandelt wird; es verbleiben also (im Jahresmittel) ungefähr 30 Watt pro Quadratmeter. Man kann Folgendes leicht errechnen: Um im Lauf eines Jahres gleichviel Elektrizität zu produzieren wie das Kraftwerk in Gösgen, müsste man etwa 40 Quadratkilometer mit photovoltaischen Zellen bedecken. Das ist nur ein Tausendstel der Fläche der Schweiz; daher sollte eine solche Anlage eigentlich möglich sein. Aber wenn man konkrete Standorte sucht, so regt sich deutliche Opposition. Bei einer emotionslosen Betrachtung muss man den Schluss ziehen, dass die Elektrizitätserzeugung in grösseren Mengen mittels Sonnenenergie in der Schweiz (noch) keine realistische Option darstellt. Daraus darf man aber nicht den Schluss ziehen, die Sonnenenergie sei in unserem Land dazu verurteilt, eine nur marginale Rolle zu spielen: Grosse Beiträge sind, wie erwähnt, aus der Solararchitektur zu erwarten. Zur Sonnenenergie gehört aber auch die Nutzung der Umgebungswärme mittels Wärmepumpen, da diese Wärme ja ihren Ursprung in der Sonnenstrahlung hat; solche Anlagen verdienen ebenfalls nachhaltige Förderung.

Unter den Gebieten der Energieforschung geniesst die Sonnenenergie gegenwärtig besondere Sympathie. Sonnenenergie-Forschungsprojekte sind für junge Forscher ausgesprochen attraktiv, die Forscher wählen bevorzugt solche Themen für ihre Studienarbeiten; aber auch die Geldgeber lassen diese Sympathie erkennen. Wenn die Anwendung der Sonnenenergie nicht so schnell fortschreitet, wie wir es uns wünschen, dann sicher nicht wegen mangelnden Geldes oder wegen mangelnder Begeisterung begabter Forscher.

## Weitere Forschungsgebiete im Energiebereich

Die Energieforschung besteht nicht nur aus solarbezogenen Projekten. Unter Energieforschung versteht man jede Forschungstätigkeit, die sich mit Energieprozessen befasst; es gehört dazu auch die Entwicklung neuer und besserer Elektromotoren, von Batterien für Elektroautos, von Flugzeugtriebwerken, von Anlagen für die Elektrizitätsversorgung. Es wird also heute ein weites Feld von Forschungstätigkeiten, in denen man ehedem nichts Gemeinsames zu erken-

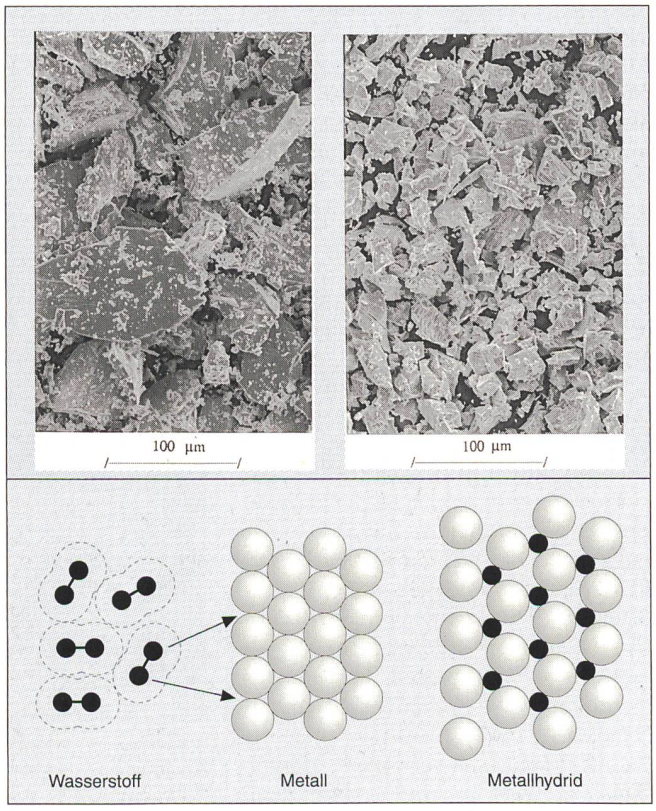


**Bild 3 Metallhydride als Energiespeicher**

Wasserstoff als Energieträger kann in erstaunlich hohen Mengen in intermetallische Verbindungen eingelagert werden. Bilder: unhydriertes $LaNi_5$ (links) und hydriertes $LaNi_5H_6$ (rechts) und Modell der Wasserstoffeinlagerung (Bull. SEV/VSE 15/96, S. 22).

nen vermochte, zusammenfassend als «Energieforschung» bezeichnet. Diese Projekte sind überaus vielfältig, wie die folgenden Beispiele zeigen.

Nutzung und Verwertung von Energie:

- Energiespeicher; Batterien für Autos und andere Anwendungen
- Wärmepumpen in Kombination mit Heizanlagen
- Brennstoffzellen für die effiziente Umwandlung von Brennstoff (Wasserstoff, aber auch Erdöl- und Erdgasprodukte) in Elektrizität
- Wasserstoff als Energieträger (Bild 3)

Energiequellen:

- Biomasse (in der Schweiz hauptsächlich Holz)
- Windanlagen
- geothermische Energiegewinnung
- Methanol aus Abfall-Biomasse
- Gezeiten, Meereswellen

## Forschung und technischer Fortschritt

Wir leben in einer Zeit schnellen technischen Fortschritts – der Fortschritt wird schneller und schneller, er hat ein atemraubendes Tempo angenommen: Diese Aussage gehört zu den Gemeinplätzen unserer Zeit, und es gibt Bestätigungen für diese Meinung. Betrachtet man das Gebiet der Elektronik und ihrer Anwendungen, so müssen wir in der Tat konstatieren, dass uns fast jedes Jahr bedeutsame Neuerungen bringt. Seit Jahrzehnten beobachten wir in den wesentlichen Messgrössen (wie etwa Anzahl Transistoren auf einem Chip oder Anzahl Rechenoperationen für einen konstanten Geldbetrag) Zuwachsraten von 25 Prozent pro Jahr; das bedeutet eine Verdoppelung in drei Jahren, eine Verzehnfachung in zehn Jahren.

### Keine sprunghaften Neuerungen – Hochtemperatur-Supraleitung als Ausnahme

Im Gegensatz zur Elektronik ist die Energie ein Gebiet mit gemächlichem technischem Fortschritt. Von Verbesserungen in der Grössenordnung von 25 Prozent pro Jahr können die Energieforscher nicht einmal träumen – sie müssen sich mit vereinzelten Prozenten, oft sogar mit bruchteiligen Prozenten begnügen. Während wir in der Elektronik laufend von bedeutsamen, oftmals geradezu revolutionären Neuerungen überrascht werden – ein Beispiel sind die Compact Disks –, warten wir in der Energie vergeblich auf solche Überraschungen. Trotz 20 Jahren enorm intensivierter Energieforschung müssen wir resigniert feststellen, dass seit unserem Sinneswandel in der Energiekrise keine grundlegende Neuerung gefunden wurde – mit der einzigen Ausnahme: der Hochtemperatur-Supraleitung (Bild 4). Wir arbeiten noch heute mit den Konzepten, die schon vorher bekannt waren und über deren Möglichkeiten man gut Bescheid wusste. Obwohl immer wieder von angeblich weittragenden Neuerungen berichtet wird, handelt es sich ausnahmslos um wenig bedeutsame Verbesserungen in bekannten Systemen.

Wird das auch in Zukunft so bleiben? Grosse Entdeckungen in der Wissenschaft lassen sich nicht voraussagen, sie sind immer etwas Unerwartetes, und es wäre geradezu fahrlässig, zu sagen, auf dem Energiegebiet werde nichts Grundlegendes kommen, weil die Vergangenheit nichts Derartiges gebracht hat. Im Gegenteil, wir hoffen auf bedeutsame Neuerungen. Aber es wäre verfehlt, auf solche zu warten und dabei die weitere Verbesserung der bekannten Prinzipien zu vernachlässigen!

## Kernenergie – die einzige neue Energieform dieses Jahrhunderts

### Kernspaltungsreaktoren

In einer Übersicht über die Energieforschung und die Energiezukunft darf die Kernenergie nicht fehlen. Sie ist die einzige neue Energieform, die uns dieses Jahrhundert gebracht hat. Voraus ist festzuhalten: Über grundlegend neue Reaktorkonzepte wird gegenwärtig kaum gesprochen. Der Grund ist, dass die Entwicklung eines neuen Konzeptes eine derart kostenaufwendige und langfristige Aufgabe ist, dass die unternehmerische Attraktivität dafür fehlt. Im Vordergrund der Forschung steht heute die inhärente Sicherheit eines Reaktors. Inhärente Sicherheit bedeutet, dass eine Störung aufgrund der dynamischen Eigenschaften des Reaktors nicht zu einem gefährlichen Zustand führen kann, auch wenn automatische Systeme (wie zum Beispiel Notkühlsysteme) ausfallen sollten. Eine andere Forschungsrichtung hat die Verbesserung der computergeführten Steuerung und Überwachung zum Inhalt; dazu gehört auch die Mensch-Maschine-Schnittstelle, also die Wechselwirkung zwischen Operateur und Anlage. Für die Ausbildung der Operateure gibt es heute Simulatoren, an denen alle denkbaren Fälle durchexerziert werden können, ohne dass in den Betrieb einer Anlage eingegriffen werden muss.

Wichtige Forschungsrichtungen betreffen die Wiederaufbereitung des ausgebrannten Brennstoffes und die Entsorgung radioaktiver Abfälle. Verlangt wird der Nachweis eines sicheren Einschlusses während Jahrtausenden. Dieser Beweis ist schwierig zu erbringen, da man im Verhalten von Werkstoffen über so lange Zeiträume über keine Erfahrung verfügt. Aber die Natur kommt uns da zu Hilfe; der Granit in unseren Alpen enthält Uran, und das Verhalten dieses Systems lässt sich über Jahrmillionen zurückverfolgen.

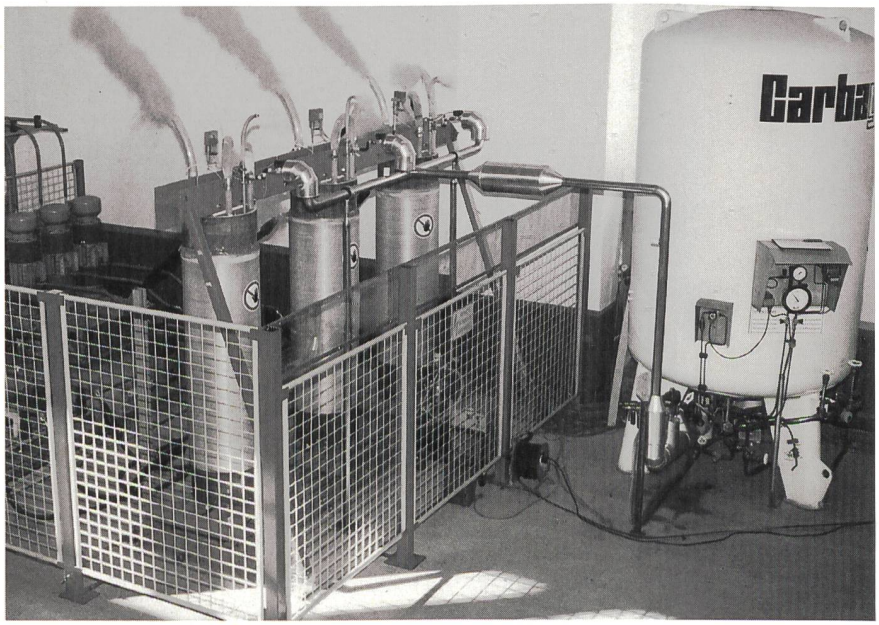

**Bild 4 Erster supraleitender Strombegrenzer am Netz**

Vor kurzem wurde ein bei ABB Schweiz auf Basis von Hochtemperatur-Supraleitermaterial entwickelter Strombegrenzer in einem Kraftwerk der NOK für einen Langzeittest in Betrieb genommen (Bull. SEV/VSE 24/96, S. 74).

Auf der Welt gibt es heute in 30 Ländern mehr als 400 Kernkraftwerke; Belgien, Schweden und Frankreich stützen ihre Stromversorgung mehr als zur Hälfte auf Kernenergie ab. Aber die wichtigen, grossen offenen Fragen der Kernenergie liegen nicht auf der Ebene der wissenschaftlichen Forschung und der technischen Entwicklung. *Sie liegen auf der Ebene der öffentlichen Meinung.* Und da die Meinung der Mitmenschen nicht voraussehbar ist und sich sprunghaft ändern kann, ist eine Aussage über die Zukunft auf jeden Fall mit grossen Unsicherheiten behaftet – eine Tatsache, an der auch Forschungsergebnisse nichts ändern können.

**Kernfusionsreaktoren**

Die grosse Unbekannte ist die Kernfusion, also die Erzeugung von Energie durch die Verschmelzung von Wasserstoff zu Helium; das ist die Energiequelle, derer sich die Sonne bedient. Dafür werden weltweit erhebliche Mittel – durchwegs aus staatlichen Quellen – aufgewendet; auch die Schweiz beteiligt sich, durch ein Institut der ETH Lausanne, an einem europäischen koordinierten Programm (Bild 5). Wie ist die Zukunft zu beurteilen? Es gibt ernst zu nehmende Wissenschafter, die der Meinung sind, die Kernfusion werde nie zu einer wirtschaftlichen Elektrizitätserzeugung führen. Mit solchen Aussagen ist Vorsicht geboten. In der Wissenschaft und in der Technik sollte man mit der Zeitangabe «nie» zurückhaltend sein: Unmöglich ist nur, was mit den Grundgesetzen im Widerspruch steht, wie zum Beispiel das Perpetuum mobile. Der Kernfusion steht, soviel man heute beurteilen kann, nichts Grundsätzliches entgegen. Indessen wird die Meinung kaum bestritten, dass bis zu einer praktischen Verwirklichung der Elektrizitätserzeugung mittels Kernfusion noch mehrere Jahrzehnte verstreichen werden. Es wäre verantwortungslos, im Blick auf die Kernfusion jetzt mit anderen Massnahmen zuzuwarten!

## Energienutzung – eine öffentliche Angelegenheit

Das Energiegeschehen ist ganz ausgeprägt eine öffentliche Angelegenheit. Für viele Energieanlagen sind Volksabstimmungen nötig, öffentlicher Grund wird beansprucht, die Energie ist von einem dichten Netz von staatlichen Geboten und Verboten umgeben. Und daher hängt die Verwirklichung von Energieszenarien, auch von Energie-Spar-Szenarien, massgebend vom Verhalten der Öffentlichkeit ab. Ein Beispiel ist die Raumheizung. Die folgende Tatsache lässt sich immer wieder bestätigen: *Den grössten Beitrag zum Energiesparen in der Raumheizung kann eine Änderung des individuellen Verbraucherverhaltens bringen.* Im Vordergrund stehen eine sachkundige Einstellung des Heizreglers am Kessel und eine gewissenhafte Überwachung der Temperatur in jedem einzelnen Raum. Und weil die Raumheizung mit Abstand der grösste Posten in der nationalen Energiebilanz ist, handelt es sich hier um einen sehr grossen Beitrag zur verbesserten Energienutzung. Eine solche Änderung braucht weder Forschung noch zusätzliche Investitionen, und sie könnte sofort, und nicht erst in Jahren, wirksam werden! Natürlich darf uns das von einer nachhaltigen Förderung von Forschungsprojekten nicht abhalten. Wir sollten uns aber nicht dazu verleiten lassen, einfach auf die Forschung zu vertrauen, in unserem Verhalten jedoch unverändert weiterzufahren.

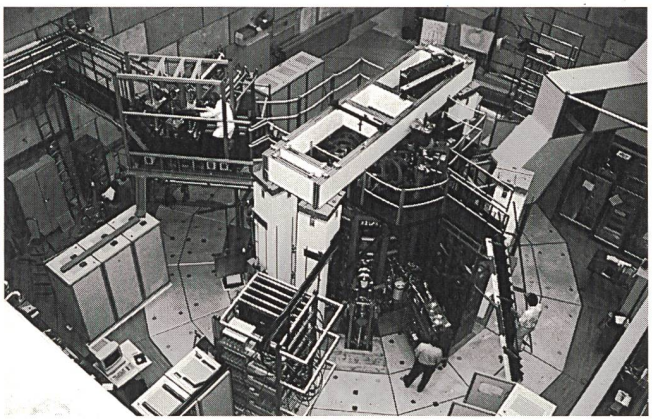

**Bild 5 Sonnenenergie konzentriert auf der Erde erzeugen**

Dies ist das Ziel der Kernfusionsforschung. Im August letzten Jahres wurde an der ETH Lausanne die Versuchsanlage eines Tokamaks mit variabler Konfiguration in Betrieb genommen (Bull. SEV/VSE 23/96, S. 51).

## Nachhaltige Entwicklung – nur ein geflügeltes Wort?

Seit Rio ist der Begriff der nachhaltigen Entwicklung zum geflügelten Wort geworden – es ist geradezu ein Musterausdruck für etwas Erstrebenswertes. Was bedeutet es eigentlich? «Nachhaltige Entwicklung» ist eine etwas unglückliche Übersetzung, der englische Originalausdruck «Sustainable Development» ist viel aussagekräftiger. «Sustainable» heisst «aufrechterhaltbar», aber das ist kein gutes Deutsch. *Nachhaltig* ist also eine Entwicklung dann, wenn sie auf die Dauer aufrecht erhalten werden kann, ohne zu einer Niederlage zu führen, welche dramatische Änderungen nötig macht.

Versucht man Pläne für eine nachhaltige Entwicklung aufzustellen, so steht die Beschaffung und die Nutzung von Energie weit im Vordergrund; und es tauchen sofort grosse und ungelöste Probleme auf, von denen ein Teil mittels der Forschung einer Lösung zugeführt werden können. Deshalb bestehen zwischen nachhaltiger Entwicklung und Energieforschung manche Zusammenhänge.

**Nachhaltigkeit – eine Frage der Ressourcen und eine Frage der Umweltbelastung**

Es sind zwei separate Fragenkreise, die im Zusammenhang mit der Nachhaltigkeit in den Vordergrund treten, nämlich die Frage der Ressourcen und die Frage der Umweltbelastung. Diese werden oft miteinander vermengt, sie sollten aber getrennt betrachtet werden. Als vor 20 Jahren die Energiekrise ausbrach, ergab sich schnell ein Konsens über die Notwendigkeit einer grundlegenden Neuorientierung in der Energiefrage. *Im Vordergrund stand damals die Problematik der Ressourcen.* Man nahm nämlich an, dass das Erdöl bei einem gleichmässig steigenden Konsum nur noch wenige Jahrzehnte reichen würde. Die Losung lautete daher «los vom Erdöl», es wurden alle Möglichkeiten der Substitution ergründet. Diese Meinung hat sich grundlegend gewandelt. In der Prospektion von Erdölvorkommen sind derartige Fortschritte erzielt worden, dass man heute von gesicherten Vorräten für ein Jahrhundert sprechen kann, und man ist zuversichtlich, dass weitere entdeckt werden. Die Kohle reicht ohnehin für mehrere Jahrhunderte. *Aus der Sicht der Ressourcen besteht heute keine Energieproblematik mehr.*

Heute ist es die Umweltbelastung, welche einer nachhaltigen Entwicklung auf dem Energiegebiet entgegensteht. Wir erleben sie täglich, wir nehmen sie mit den Augen und mit dem Geruchssinn wahr: die Trübung der Luft, der Smog, die Abgase, der Russ, der sich niederschlägt. Nun beginnen aber die zuneh-

mend strengen Vorschriften Früchte zu tragen, die Luftreinhalteverordnung für die Ölheizungen, die Katalysatoren an den Autos, die strengen Auflagen für die Industriebetriebe, sie alle beginnen zu greifen – die allgemeine Umweltsituation hat sich gebessert, es ist damit zu rechnen, dass sie sich weiter bessert. Es bleibt aber ein Faktor, dessen Auswirkungen noch kaum wahrnehmbar sind, der aber drohend über uns schwebt, nämlich die Anreicherung der Atmosphäre mit Gasen, die die Sonnenstrahlung und das Klima verändern können.

Der Ozonschild in der Stratosphäre, beispielsweise, ist durch reaktive Fluor- und Chlorverbindungen gefährdet, was zu einer vermehrten Einstrahlung von schädlichem Ultraviolettlicht führt. Deshalb bestehen für die Verwendung von solchen Stoffen strenge Vorschriften; es ist damit zu rechnen, dass ihr Ausstoss nach einiger Zeit auf einen unbedenklichen Wert reduziert werden kann.

**Ungelöstes Problem: der Treibhauseffekt**

Weitere Schadstoffe, die wir in die Luft abgeben, fördern den Treibhauseffekt, also die Erwärmung der Erdoberfläche. Mit richtig aufgestellten und international eingehaltenen Normen lassen sie sich im Prinzip alle auf ein unbedenkliches Niveau reduzieren – mit einer bedeutsamen Ausnahme: das Kohlendioxid, abgekürzt $CO_2$, das bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen entsteht. Es lässt sich nur durch eine Verminderung des Brennstoffverbrauchs reduzieren. Kein Katalysator, keine Luftreinhalteverordnung, kein Filter, kein Forschungsprojekt irgendwelcher Art ändern daran etwas. Die Anreicherung der Atmosphäre mit $CO_2$ ist bereits deutlich erkennbar, sie schreitet fort, und dass es zu einer Klimaerwärmung kommen wird, ist unbestritten, offen ist lediglich die Frage, wie schnell und wie stark. *Dieses Problem ist vollkommen ungelöst.* Lediglich Verschiebungen zwischen den verschiedenen fossilen Brennstoffen sind möglich; für eine gegebene Wärmemenge ist nämlich der $CO_2$-Ausstoss bei der Kohle am grössten, beim Erdgas am geringsten, das Erdöl steht dazwischen.

Auf die Verbrennung von fossilen Brennstoffen können wir nur schwer verzichten. Auch die Kernenergie kann nicht alle fossilen Brennstoffe ersetzen, ganz abgesehen davon, dass ihre Zukunft mit vielen Unsicherheiten behaftet ist. Der $CO_2$-Gehalt der Atmosphäre ist bereits heute etwa 50 Prozent höher als vor 100 Jahren. Schlimm ist die Langlebigkeit dieser Belastung: Sogar wenn ab morgen der von Menschen erzeugte $CO_2$-Ausstoss auf Null reduziert würde, so würde es viele Jahrzehnte dauern, bis die Natur diesen Überschuss wieder abgebaut hätte. Dabei kann von einer sofortigen Reduktion des Ausstosses auf Null natürlich keine Rede sein – bestenfalls können wir auf einen verlangsamten Anstieg des $CO_2$-Gehaltes der Atmosphäre, dann eine Stabilisierung und vielleicht im nächsten Jahrhundert eine gewisse Reduktion hoffen. Es müssten aber alle Länder der Erde mitwirken, die Schweiz allein mit ihrem bescheidenen Einfluss ist machtlos.

**Sonnenenergie als Ausweg?**

Welches ist der Ausweg? Die einzige langfristig glaubhafte Alternative ist die Sonnenenergie. Sie ist noch heute gegenüber den geltenden Strompreisen um einen Faktor zehn zu teuer, zur Abdekkung des Grundbedarfs kommt sie noch auf lange Zeit nicht in Frage. Bisweilen wird verlangt, die Förderung der Solarenergie deswegen überhaupt einzustellen. Das ist eine Forderung, die von Kurzsichtigkeit zeugt: Denn über Jahrzehnte gesehen, ist die Sonnenenergie eine Technologie der Zukunft, auf die man nicht wird verzichten können. Nach Angaben besonnener Vertreter der Solarbranche muss für die breite und solide Etablierung der Photovoltaik mit einem Zeitraum von 80 Jahren gerechnet werden. Das bedeutet, dass die Weichen schon heute gestellt werden müssen. Es wäre verfehlt, jetzt zu resignieren und Forschung und Entwicklung einzustellen!

**Die zwei wirklich grossen Probleme**

Es gibt ernst zu nehmende Beobachter, die festhalten, dass die zwei wirklich grossen Probleme, mit denen die Welt konfrontiert ist, die folgenden sind: die Bevölkerungsvermehrung, die zu einer Unmöglichkeit führen könnte, alle Menschen zu ernähren, und die $CO_2$-Anreicherung der Atmosphäre, die eine untragbare Erwärmung des Klimas zur Folge haben könnte. Für beide Probleme ist eine glaubhafte Lösung nicht in Sicht, und solange eine solche nicht gefunden wird, kann von einer wirklich nachhaltigen Entwicklung nicht gesprochen werden.

## Blick in die Zukunft

Bei den Erwägungen um die nachhaltige Entwicklung ist eine Frage offen geblieben. Wir haben festgehalten, dass unter nachhaltiger Entwicklung eine solche zu verstehen ist, die fortdauern kann, ohne dass es zu einer Niederlage kommt – zu einer Erschöpfung der Ressourcen oder zu einer Umweltkatastrophe. Aber: Wie lange ist sie im voraus planbar? Über 50, 100, 500 Jahre? Sicher nicht 500 Jahre. Irgendwo zwischen 100 und 500 Jahren hört nämlich ein Planungshorizont auf, sinnvoll zu sein. Blicken wir einmal 500 Jahre zurück, also ins Jahr 1500 und damit ans Ende des Mittelalters. Was sich seither geändert hat, ist unvorstellbar. Keine irgendwie geartete Prognosetechnik hätte damals das Aussehen der Welt voraussagen können, in der wir heute leben. Und ähnlich hilflos wäre ein Versuch, uns jetzt für eine Welt des Jahres 2500 vorzusehen. Wir müssen damit rechnen, dass in dieser Zeit grundlegend neue technische Lösungen gefunden und eingesetzt werden, die wir heute nicht kennen und die wir daher auch nicht in unsere Planungen einbeziehen können.

Man könnte es für vertretbar halten, sich für eine Entwicklung einzurichten, die uns unsere Umwelt für ein volles Jahrhundert lebenswert erhält. Unsere Nachkommen würden dann im Jahr 2100 den nachfolgenden Generationen für das 22. Jahrhundert eine Welt übergeben, die intakt ist. Die Hoffnung ist sicher berechtigt, dass dannzumal Lösungen dasein werden, die wir jetzt noch nicht kennen!

# La recherche énergétique

## Un coup d'œil sur l'avenir

La recherche énergétique est aussi ancienne que la technique. Même si d'autres domaines de recherche sont actuellement plus remarqués, elle a néanmoins une influence tout aussi directe sur notre avenir. En revanche, des solutions viables doivent encore être trouvées à deux problèmes en étroite relation avec l'approvisionnement en énergie: la croissance démographique incontrôlée et l'enrichissement progressif de l'atmosphère en $CO_2$, qui pourrait provoquer un échauffement insupportable du climat terrestre.