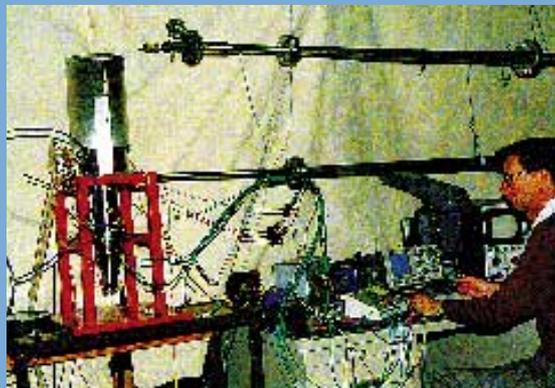


Öffentliche Energieforschung in der Schweiz



Wozu diese Broschüre?

Es war nicht der Ehrgeiz des Bundesamts für Energiewirtschaft (BEW), zu den abertausend Publikationen im Lande noch eine weitere zu fügen. Vielmehr standen der vorliegenden Broschüre einige gute Gründe und auch ein Anlass Pate.

Ein Grund: **In der Schweiz werden jährlich über 200 Mio. Franken öffentlicher Gelder für die Energieforschung aufgewendet**, ein beträchtlicher Teil davon zur Förderung der Forschung in der Privatwirtschaft. Die Öffentlichkeit wird zwar regelmässig über Verwendung dieser Summen informiert, aber meist nur in kurzen Pressemeldungen. Sie hat jedoch ein Recht, Genaueres zu erfahren – und dazu bietet sich eine detaillierte, aber doch nicht zu umfangreiche Schrift an.

Ein zweiter Grund: **Die Verbrennung von Erdgas- und Erdölprodukten für Heizung und Verkehr ist Hauptursache der Umweltverschmutzung**. Forschung nach neuen und effizienten Energietechniken ist daher auch Forschung im Dienste der Umwelt.

Ein dritter Grund: **Die Schweiz muss nach wie vor rund 80 % ihres Energiebedarfs importieren**, vor allem in Form von Erdöl und Erdölprodukten. In Anbetracht dieser Import-Abhängigkeit und der Begrenztheit der Erdölreserven ist daher Energieforschung – die Suche nach neuen und effizienteren Energietechniken – überlebenswichtig. Dabei kommt es ganz wesentlich auf die Umsetzung der Forschungsergebnisse zu Produkten und Verfahren an. Über die Akzeptanz bzw. Marktdurchdringung dieser Produkte und Verfahren wiederum entscheiden die Bürger. Daher sollen oder müssen sie wissen, was und wie und mit welchen Zielen geforscht wird – es steht, kurz zusammengefasst, in dieser Broschüre.

Der, wie wir meinen, gerechtfertigte Anlass zur Herausgabe dieser Broschüre ist die **Umstrukturierung des BEW im Jahre 1996**. Die Reorganisation zielt darauf ab, die Koordination der schweizerischen Energieforschung weiter zu verbessern, insbesondere die Umsetzung der Forschungsergebnisse.

Und aus diesem Anlass ergibt sich ein vierter Grund. **Mag für viele Leser der Inhalt dieser Broschüre interessant sein, so ist er für manche auch wichtig**: Sie kann Wege aufzeigen, um für eigene Ideen fachliche Unterstützung und finanzielle Förderung zu finden.

Wir hoffen, dass diese Publikation – trotz des gebotenen Kompromisses zwischen Vollständigkeit und vernünftigem Umfang – allen Lesern Gewinn bringe.

Bundesamt für Energiewirtschaft

Frühjahr 1997

**»Energie ist das Blut der Wirtschaft
und ein Schlüssel zum Umweltschutz«**

**Jeanne Hersch
Philosophin, Genf**

Impressum:

Bundesamt für Energiewirtschaft
3003 Bern

Diese Broschüre ist, wie auch Jahres- und Schlussberichte aus der Energieforschung, gratis erhältlich bei:
ENET, Schachenallee 29, 5000 Aarau, Fax 062 - 834 03 23, oder
Thunstrasse 115, 3000 Bern 16, Fax 031 - 352 77 56

Energieforschung – auch eine politische Aufgabe

Was für die Forschung ganz allgemein gilt, trifft in besonderer Weise auf die Energieforschung zu: Ein Industrieland wie die Schweiz, das über sehr begrenzte eigene Energiequellen verfügt, kann nur mit neuen Technologien die Leistungsfähigkeit seiner Volkswirtschaft im internationalen Wettbewerb sichern. Allerdings haben sich in den letzten Jahrzehnten die **Prioritäten der Energieforschung erheblich verschoben**. Stand noch in den 1970er-Jahren die **quantitativ gesicherte Versorgung** allein im Vordergrund, so sind seit den 1980er-Jahren qualitative Werte wie **Umweltschutz und Ressourcenschonung** ebenso massgebend. Dieser gesellschaftliche Wertewandel hat sich schon frühzeitig in der Schweizer Energiepolitik bzw. in den Grundsätzen der öffentlichen Energieforschung niedergeschlagen.

Etwa 10 % der gesamtschweizerischen Aufwendungen für Forschung und Entwicklung bzw. **jährlich rund 1 Mrd. Franken** fliessen **in die Energieforschung** – gemessen am Bruttosozialprodukt der weltweit höchste Wert nach Japan. Etwa 4/5 dieser Summe trägt die Privatwirtschaft. Sie widmet jedoch über 80 % davon der Produktentwicklung und weniger als 20 % der eigentlichen Energieforschung bzw. vorindustriellen Entwicklungsarbeiten. Was besagt, dass **für die eigentliche Energieforschung Privatwirtschaft wie öffentliche Hand ungefähr gleich hohe Mittel** einsetzen.

Öffentliche Mittel für die privatwirtschaftliche Forschung? Widerspricht das nicht schweizerischen Grundsätzen? Gewiss, die Schweizer Industrie war von jeher auf Unabhängigkeit bedacht. **Seit den 1980er-Jahren** ist jedoch in der Forschung, zumindest in der Energieforschung, die **Zusammenarbeit mit der öffentlichen Hand immer enger** geworden, und so wirkt die Privatwirtschaft auch bei der Definition der staatlichen Energieforschung prägend mit. Zudem hat im Energiebereich der Grundsatz, wonach für Ausbildung und Grundlagenforschung der Staat, für die anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung aber die Privatwirtschaft zuständig sei, nur beschränkte Gültigkeit. **Die niedrigen Preise herkömmlicher Energieträger erschweren nämlich die rasche Einführung neuer Energietechniken** oder machen sie sogar unmöglich, weil ihre **Entwicklung für die Privatwirtschaft finanziell allzu risikoreich** ist.

Auch **das grosse Interesse der Öffentlichkeit**, neuen und insbesondere umweltverträglichen Energietechniken zum Durchbruch zu verhelfen, verpflichtet die Energieforschung der öffentlichen Hand zur engen Zusammenarbeit mit der Privatwirtschaft. Das schafft einerseits einige Abgrenzungsprobleme. Andererseits aber werden damit die Möglichkeiten zur Umsetzung von Forschungsergebnissen wesentlich erleichtert.

Leitlinie für die Ausrichtung der schweizerischen Energieforschung ist das **»Konzept der Energieforschung des Bundes«**. Es wird alle vier Jahre durch die Eidg. Energieforschungskommission CORE revidiert und dem Bundesrat zur Genehmigung vorgelegt. Koordiniert und begleitet wird die Energieforschung vom BEW.

Die Priorität der Schweizer Energiepolitik: eine langfristig sichere, umweltschonende und wirtschaftlich tragbare Energieversorgung.



Forschung im Bereich **Verkehr**: Dieses energieeffiziente, emissionsfreie und leise Elektrofahrzeug eines Schweizer Herstellers könnte ein Taxi der Zukunft sein – 1996 bereits als Zubringer der Autoausstellung in Leipzig eingesetzt.



Forschung im Bereich **Übrige Biomasse**: In der Kompostieranlage »Allmig« in Baar sorgen neuartige Verfahren für geringste Umweltbeeinflussung bei sehr hoher Produktqualität.

Energieforschungs-Lexikon

Energieforschung umfasst die Erarbeitung und Umsetzung wissenschaftlicher, technischer, wirtschaftlicher und gesellschaftspolitischer Erkenntnisse, die dazu dienen können, den heutigen und zukünftigen Energiebedarf auf effiziente, wirtschaftliche und umweltverträgliche Weise zu decken.

Schwerpunkt in der **Energieforschung der öffentlichen Hand** ist die anwendungsorientierte Forschung: Ihre Ergebnisse sollen sich in einem Produkt, einer Energieumwandlungsanlage, in der Verbesserung bestehender Massnahmen oder Verfahren etc. niederschlagen.

Energieforschung ist **interdisziplinär** – sie vereint Maschinenbau und Elektrotechnik mit Physik, Chemie, Werkstoffwissenschaften, Biologie und Informatik sowie Ökonomie und Soziologie. Daraus resultieren oft Synergien zum Nutzen der Energieforschung – vor allem in der Schweiz, weil sich hier vielfach nicht nur dieselben Institute, sondern auch dieselben Personen mit Energie- und zugleich anderer Forschung befassen.

Wichtig in der Energieforschung sind **Pilot- und Demonstrationsanlagen**, weil sie die **Umsetzung** von Forschungsergebnissen in die praktische Anwendung beschleunigen.

In **Pilotanlagen** wird erstmals eine Anlage oder ein Verfahren aus dem Labormassstab auf einen technischen Massstab übertragen und in diesem Massstab erprobt.

Der nächste Schritt sind **Demonstrationsanlagen**, die im Massstab 1:1 erbaut werden und eine strenge technische, wirtschaftliche und ökologische Beurteilung im Hinblick auf eine erhoffte kommerzielle Einführung ermöglichen.

Schliesslich beinhaltet auch die **Markteinführung** oft Forschungsaspekte, vor allem Fragen zu **Akzeptanz, Umwelteinflüssen** und wirtschaftlicher Einbettung sowie **sozialwissenschaftliche Probleme**.

Begründung
der
öffentlichen
Förderung

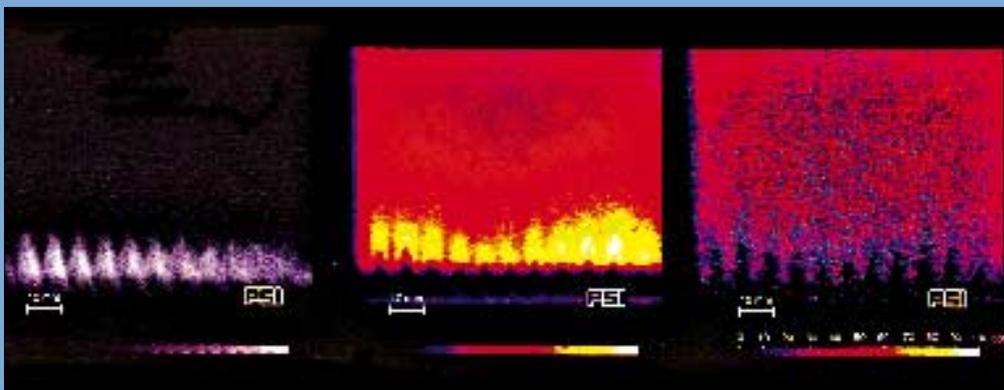
Energieforschungs-Strategie für die nächste Zukunft

Mit der **Neuorientierung der Energiepolitik in den 1970er-Jahren** wurde die **Energieforschung** zu einem **Grundpfeiler der schweizerischen Energiepolitik**. Seither sind die folgenden Grundsätze für diese Forschung formuliert worden.

- ❑ Sie muss sich an der politischen Vorgabe im Energieartikel der Bundesverfassung orientieren: **Bund und Kantone schaffen im Rahmen ihrer Zuständigkeiten die Voraussetzungen für eine ausreichende und sichere, wirtschaftliche und umweltschonende Energieversorgung sowie für eine sparsame und rationelle Energieverwendung.**
- ❑ Die **Prioritäten** dieser Forschung richten sich **nach den längerfristigen energiepolitischen Perspektiven.**
- ❑ Anzustreben ist eine **qualitativ hochstehende, gut koordinierte Forschung**. Ihre Kontinuität ist durch längerfristige Zusagen adäquater finanzieller und personeller Mittel zu sichern.
- ❑ Die Energieforschung soll **in bestehenden Institutionen** aus- bzw. aufgebaut werden.
- ❑ In Forschungsgebieten hoher Priorität ist die **Bildung personell und materiell ausreichend dotierter Forschungsgruppen** zu fördern, um Kontinuität und Wissensstand zu wahren.
- ❑ Der Einsatz von **Bundesmitteln in der Privatwirtschaft erfolgt nach dem Prinzip der Subsidiarität** (d.h. dort, wo die privatwirtschaftlichen Mittel nicht ausreichen).
- ❑ Die Energieforschung soll getragen werden von einer **ganzheitlichen Denkweise**. Insbesondere ist den Beziehungen zwischen Technik und Umwelt sowie sozio-ökonomischen Aspekten Beachtung zu schenken; innovative Ideen sind zu fördern.
- ❑ Durch **internationale Zusammenarbeit** ist die Effizienz der eingesetzten Forschungsmittel zu verstärken.
- ❑ Die öffentliche Energieforschung hat Verantwortung auch wahrzunehmen für die **Aus- und Weiterbildung** von wissenschaftlichem und technischem Personal, für den Transfer bzw. **die Umsetzung von Forschungsergebnissen in die Praxis** und für die **Information der Öffentlichkeit** über neue Ergebnisse.

Aus diesen Grundsätzen der schweizerischen Energiepolitik ergibt sich die **Forschungsstrategie für die nächste Zukunft**:

- ❑ Beitragen zur **Senkung des Energieverbrauchs durch effizientere Endnutzung sowie durch Verbesserung bestehender und Entwicklung neuer Techniken** zur Erzeugung, Umwandlung, Speicherung und Verteilung von Wärme und Strom. **Nutzung erneuerbarer Energie.**
- ❑ Fortsetzung der Anstrengungen für **sauberere und effizientere Verbrennungs- und Feuerungstechniken** auch im Hinblick auf neue chemische Energieträger.
- ❑ Weiterhin **sichere nukleare Stromproduktion** sowie Fortsetzung der Arbeiten im Bereich der **Kernfusion als Langzeit-Option** (jedoch Verzicht auf die Erforschung von Brutreaktoren).
- ❑ **Berücksichtigung integraler Zusammenhänge**, wie z.B. globaler Stoff-Flüsse, grauer Energie, Risikofragen und Nachhaltigkeit.
- ❑ **Einbezug gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Rahmenbedingungen** sowie der Entwicklung von Energienachfrage und -angebot.



Forschung im Teilbereich **Feuerung und Verbrennung**: An einem kommerziellen Heizungs-Vormischungs-Gasbrenner wurden am Paul-Scherrer-Institut (PSI) mit Laserverfahren Schadstoffentstehung und -verteilung untersucht. Links das

Eigenleuchten (Chemilumineszenz) der Flamme, in der Mitte die Verteilung der OH-Radikale, rechts des Stickstoffmonoxids. Solche Bilder liefern Hinweise auf Verbesserungsmöglichkeiten.

Grundsätze
und
Strategie

Der organisatorische Rahmen: Bereiche, Programme, Projekte und Experten

Mit Koordination, Begleitung und internationaler Einbettung der Energieforschung, die von der öffentlichen Hand gefördert wird, ist das Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW) betraut. Es wird dabei von der Eidg. Energieforschungskommission CORE beraten.

Das BEW hat das Gesamtgebiet der Schweizer Energieforschung drei »Sektionen« zugeteilt:

- Rationelle Energienutzung,**
- Erneuerbare Energie und**
- Sonderbereiche.**

Die drei Sektionen umfassen **insgesamt 14 »Bereiche«**, beispielsweise »Holz« oder »Kernenergie«:

- Jeder Bereich wird von einem Bereichsleiter betreut.**
- Ein Bereich kann in Teilbereiche gegliedert sein**, beispielsweise der Bereich »Verkehr« in die Teilbereiche »Verkehr allgemein« und »Verkehr Leichtmobile«.
- Ein 15. Bereich, »Energiewirtschaftliche Grundlagen«,** ist keiner der drei Sektionen zugeteilt, weil er **alle anderen Bereiche, die ja auf technische Aufgaben ausgerichtet sind, mit wirtschaftlichen, gesellschaftlichen und politischen Fragestellungen unterstützt und erweitert.**

Ein Verzeichnis aller Bereiche und Teilbereiche sowie der Adressen aller Bereichs- und Programmleiter findet sich auf der Innenseite des rückwärtigen Umschlags.

Jeder Teilbereich umfasst ein Forschungs- und P&D-Programm sowie ein Umsetzungs- und Marketingprogramm. Im Bereich »Aktive Solarnutzung« z.B. bestehen solche Programme für die beiden Teilbereiche »Solarwärme« und »Photovoltaik«. **Für jedes Programm ist ein Programmleiter verantwortlich; oft übernimmt auch der Bereichsleiter selbst diese Aufgabe.**

Dem Bereichsleiter steht neben den Programmleitern noch eine Expertengruppe zur Seite. Zusammen erarbeiten sie, gestützt auf das Konzept der Energieforschung des Bundes und unter Berücksichtigung der staats- und wirtschaftspolitischen Randbedingungen, einen **detaillierten Ausführungsplan** für ihren Bereich. In der Folge werden **verschiedene Projekte gefördert**. Den Grossteil der Projekte bearbeiten öffentliche Forschungsstellen, wie ETH oder Paul-Scherrer-Institut (PSI). Aber auch an Industrie, Ingenieurbüros und Einzelpersonen vergibt das BEW Fördermittel.

Die **CORE (Commission fédérale pour la recherche énergétique)** wurde 1986 eingesetzt. In ihr sind Industrie, Energiewirtschaft, ETH, Universitäten und Fachhochschulen, die kantonalen Energiefachstellen, der Nationalfonds, die Förderungsorgane der Wirtschaft sowie der Schweiz. Wissenschaftsrat vertreten. Das Mandat der Kommissionsmitglieder ist persönlich. Die Kommission **hat den Auftrag, den Bundesrat und das EVED in bezug auf die Energieforschung des Bundes und im Hinblick auf die Umsetzung der Forschungsergebnisse zu beraten und dabei Leitlinien für die Schweizer Energieforschung zu setzen.** Wichtigste Erzeugnisse der CORE sind das »Konzept der Energieforschung des Bundes«, das alle vier Jahre aufdatiert wird, sowie die alle zwei Jahre stattfindende »Schweizerische Energieforschungskonferenz«.

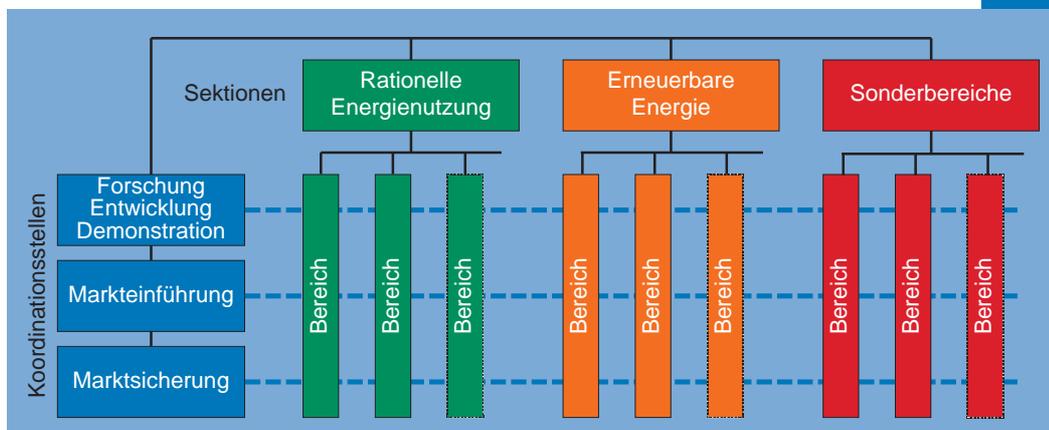
Organisations-Lexikon

Koordination der Energieforschung bedeutet, dass das BEW bemüht ist, alle einschlägigen Forschungsaktivitäten (von Hochschulen, Privatwirtschaft und den übrigen Forschungs-Organisationen) in der Schweiz zu erfassen und aufeinander abzustimmen, um grösstmögliche Effizienz zu erzielen. Doppelgleisigkeiten sollen vermieden, das Rad nicht zum zweitenmal erfunden werden. Das BEW setzt dazu seine Fachkompetenz, seine nationalen und internationalen Informationskanäle und nicht zuletzt seine Fördermittel ein.

Unter **Begleitung** ist zu verstehen, dass das BEW alle von ihm geförderten Forschungsprojekte auch fachlich laufend verfolgt, sei es durch Prüfung der regelmässig von den Projektbearbeitern zu erstellenden Fortschrittsberichte, sei es durch Hilfestellung bei der Umsetzung sowie durch persönliche Kontakte und Besuche der Programmleiter an den Forschungsstellen.

Bereiche bilden jene Themenkreise, welchen alle schweizerischen Energieforschungs-Aktivitäten, und zwar sowohl die öffentlichen wie die privaten, zugeteilt sind. Ein Bereich ist also mit einem bestimmten Gebiet der Energietechnik bzw. Energieforschung gleichzusetzen, z.B. »Gebäudehülle«, »Photovoltaik«, »Holz«, »Geothermie«, »Kernfusion« oder »Wärmespeicherung«.

Ein **Projekt** ist eine Forschungsarbeit über ein ganz bestimmtes, in der Regel fachlich und zeitlich begrenztes Thema, z.B. »Entwicklung eines Fassadensystems mit integrierten Solarzellenmodulen«.



Organisation
der
BEW-
Förderung

Vor allem, um die Umsetzung der Forschungsergebnisse besser fördern zu können, hat das BEW 1996 die Organisation der Energieforschung geändert. War zuvor Forschung & Entwicklung ein eigenständiges, sich über alle

Bereiche erstreckendes Gebiet, so werden nunmehr Forschung, Entwicklung, Demonstration sowie Markteinführung und Marktsicherung bereichsübergreifend wahrgenommen.

Das Gebäude als rationelles Energiesystem

Wie in allen Industriestaaten in gemässigtem Klima, so ist **auch in der Schweiz der Bereich »Gebäude« der grösste Energieverbraucher**. In der Hauptsache die Heizung, aber auch Strom- und Wasserversorgung sowie Lüftung und Klimatisierung von Wohn- und Bürobauten beanspruchen **rund die Hälfte der Endenergie**. In der Hochkonjunktur zwischen 1960 und 1975 war auch in der sonst so qualitätsbewussten Schweiz oft sehr nachlässig gebaut und dabei nicht auf den Energieverbrauch geachtet worden (Heizöl war ja spottbillig) – mit dem Ergebnis, dass die heute berühmten 1960er-Gebäude mehr Strom und Heizwärme verbrauchen als ältere.

Das grosse Erwachen kam mit der Ölkrise 1973. Seither sind dank Forschung auf allen Gebieten des Hochbaus **bemerkenswerte Fortschritte** erzielt worden – **Bauten nach den neuesten Erkenntnissen haben nur noch einen Bruchteil des früher üblichen Strom- und Heizwärmebedarfs**. Diese Fortschritte wirken sich aber nur sehr langsam auf den Gesamtverbrauch aus, weil die jährliche Neubauleistung nur im Prozentbereich des Baubestands liegt. Gebäude werden eben frühestens nach Jahrzehnten renoviert und in noch längeren Zeitabständen umfassend erneuert.

Das Problem des (allzu) hohen Energieverbrauchs lässt sich daher nicht allein mit bau- und haustechnischen Verbesserungen lösen. Ebenso wichtig ist die rasche und möglichst breite Anwendung dieser Ergebnisse. Dem stehen jedoch zahlreiche Hürden in Form von kaum miteinander koordinierten, oft mehrgleisigen, jedenfalls aber schwer überschaubaren Forschungsarbeiten im Weg. Um diese Hürden abzubauen und so die Umsetzung zu beschleunigen, startete das **BEW Mitte der 1980er-Jahre das Forschungsprogramm »Rationelle Energienutzung in Gebäuden«**. Einige seiner Ergebnisse:

- **Planungshilfsmittel**, z.B. ein Computerprogramm zur **Simulation von Luftströmungen in Innenräumen** – Grundlage für die energiesparende Auslegung von Klima- und Lüftungsanlagen. Konzepte zum effizienten Bau und Betrieb von Schulen und Spitälern.
- Energiesparende passive Systeme zur sommerlichen Kühlung von Bürobauten sind entwickelt und erfolgreich getestet worden.
- Für Ökobilanzen wurde eine Standardsoftware geschaffen, **für die wichtigsten Bau- und Wärmedämmstoffe wurden Ökobilanzen erstellt**.

Das BEW-Forschungsprogramm **»Solararchitektur«** bildete dazu eine **wertvolle Ergänzung**. Das Programm konzentrierte sich auf Messungen an Gebäuden – von Einfamilienhäusern bis zu Fabrikbauten – und neuen solararchitektonischen Komponenten. Dabei wurden einerseits Fehler aus den Anfängen festgestellt, andererseits aber wegweisende Erkenntnisse gewonnen und in **Datenbanken und Rechenprogrammen für Planer** festgehalten, vor allem über Eigenschaften neuer Fenstergläser mit geringer Wärmedurchlässigkeit, Tageslichtsysteme, solare Luftheizsysteme, transparente Wärmedämmung, Atrien, Wintergärten und verglaste Balkone, Gesamtenergiekonzepte und Gebäudesanierung.

Damit ist die Forschung dem gesteckten Ziel wieder ein gutes Stück nähergekommen. Dieses **Ziel** wurde inzwischen präzisiert. Es liegt auf einem vom SIA, dem Schweiz. Ingenieur- und Architektenverein, definierten **»Absenkpfad« für den Energieverbrauch von Bauten**. Und zwar sollen neue Wohnbauten im Jahr 2000 im Durchschnitt 180 MJ/m²a Heizwärme verbrauchen, im Jahr 2020 sogar nur noch 100 MJ/m²a (energietechnisch sanierte Altbauten dürfen 50 % höhere Werte haben). Zum Vergleich: 1970 lagen Neubauten noch bei 570 MJ/m²a!

Gebäude-Lexikon

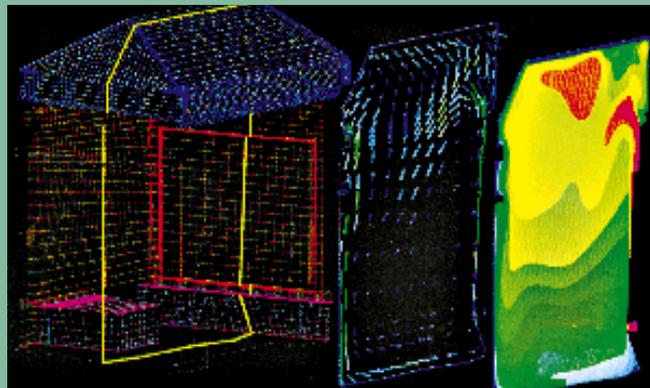
Der Begriff **Gebäude** umfasst Ein- und Mehrfamilienhäuser, Büro-, Geschäfts- und Fabrikbauten.

Gebäudehülle steht für jene Teile eines Gebäudes, die sein Inneres von der Aussenwelt – Atmosphäre und Erdboden – trennen: Aussenwände einschliesslich Aussenmauern des Kellers, Fenster, Türen und Dach. Ihre Wärmedurchlässigkeit bestimmt im wesentlichen, wieviel Heizwärme an die Aussenwelt verlorengeht.

Die **Transparente Wärmedämmung (TWD)** besteht aus lichtdurchlässigem Material. Es leitet Sonnenstrahlung an die Aussenwand, lässt aber deren Wärmeabstrahlung nicht nach aussen.

Solararchitektur bezeichnet keinen Baustil. Sie will Gebäude nach Form, Anordnung und Grösse der Fensterflächen, Raumzonung und Verteilung wärmespeichernder Massen so gestalten, dass die Sonne gezielt als Licht- und Wärmequelle einbezogen wird. Damit soll der Bedarf an nicht-erneuerbarer Energie möglichst gering gehalten, zugleich aber Überhitzung im Sommer vermieden werden. Man unterscheidet **direkte Solarnutzung** (der durch die Fenster einfallenden Sonnenstrahlen, für Erwärmung und Tageslichtnutzung) und indirekte Nutzung über aussen angebrachte Kollektoren (die Wasser oder Luft erwärmen). **Systemintegration** stimmt die einzelnen Massnahmen mit dem Ziel geringstmöglichen Energiebedarfs aufeinander ab.

Die **Bauökologie** befasst sich mit allen Aspekten umweltschonenden Bauens. Mit Ökobilanzen wird versucht, die Umweltverträglichkeit von Baustoffen oder ganzen Bauten zu bewerten. Eine **Ökobilanz** setzt sich aus **Schadstoffbilanz** (Zusammenfassung aller Umweltbelastungen) und **Energiebilanz** (Summe des Energieverbrauchs aller Einzelschritte von Materialgewinnung über Transport bis zur Entsorgung) zusammen. Ökobilanzen sind keine Basis für vereinfachende Urteile, aber geeignet,



Ergebnis mehrerer Forschungsprojekte war eine Methode zur Berechnung von Luftströmungen und Temperaturschichtungen auch bei schwierigen Gegebenheiten, z.B. in grossen Atrien von Bürogebäuden (solche Atrien dienen der Tageslichtnutzung). Links: ein

Atrium in Zug. Rechts: das Rechenmodell, daneben (für das gelb markierte Profil), Luftströmung und Temperaturverteilung im Winter (rot = warm, grün = kalt).

Das Forschungsprogramm 1996/99 soll **die technischen Voraussetzungen dafür schaffen**. Um dabei den vielschichtigen Zusammenhängen zwischen den einzelnen Teilgebieten des Energiesystems »Gebäude« besser – im Sinne der rationellen Energienutzung – Rechnung tragen zu können, fasste das BEW die drei Bereiche »Gebäudesysteme und -hülle«, »Haustechnik HLK« sowie »Solararchitektur und Tageslichtnutzung« in einem »**Hauptbereichsprogramm Gebäude**« zusammen. Dessen Ausführungspläne orientieren sich an acht Leitziele: Verglichen mit 1990 soll bis zum Jahr 2000 der Endenergieverbrauch für Warmwasser, Raumheizung, Raumkühlung und Elektrizität – je nachdem, ob Wohn- oder Dienstleistungsgebäude, ob Sanierung oder Neubau – um 10 bis 25 % und bis 2010 nochmals um ähnliche Prozentsätze gesenkt werden. Das **Schwergewicht liegt auf der nachhaltigen energetischen Sanierung bestehender Gebäude**, welche die heute noch geübte Reparaturstrategie abzulösen hat. Dabei sollen Bauökologie und Nutzung erneuerbarer Energie speziell berücksichtigt werden.

Um die Leitziele zu erreichen, sind den F&E-Arbeiten des »Hauptbereichsprogramms Gebäude« die folgenden **Schwerpunkte** gesetzt:

- Entwicklungen in bezug auf **Gebäudesysteme und -hülle: einfache Planungshilfen für die energetische Optimierung** von Gesamtlösungen unter Berücksichtigung der Bauökologie; **neue Dämmstoffe** mit k-Werten von 0,20 bis 0,25 W/m²K bei 5 bis 8 cm Dicke und vereinfachte Verarbeitungs- und Montagetechniken; Fenster mit verbesserter Energiebilanz und Fenster-Sanierungssysteme; einfache Verfahren zur Überprüfung der energetischen Qualität.
- Entwicklungen in bezug auf **Haustechnik**: Entscheidungsgrundlagen zur **gesamtheitlichen, ökologischen Beurteilung**, auch in bezug auf Rückbaubarkeit; **Standardlösungen** (mit neuen Techniken wie Wärmepumpen und Wärme-Kraft-Kopplung) **für die Sanierung** alter Heizanlagen; **Ölheizkessel** unter 70 kW Leistung mit **mindestens 95 % Jahresnutzungsgrad**; Öl- und Gasbrenner mit halberm Stromverbrauch; hochwirksame Wärmedämmungen (z.B. mit Vakuum) für Heizungen; neue, **kontrollierte Wohnungslüftungen** mit Regelung nach der Luftqualität.
- Entwicklungen in bezug auf **Solararchitektur und Tageslichtnutzung**: Katalog bewährter Lösungen, vor allem bei Niedrigenergiehäusern, für die intensive Nutzung der Sonnenstrahlung als Tageslicht und Wärme (mit Direktgewinn oder solaren Luftsystemen); kostengünstige Module der **transparenten Wärmedämmung** mit eingebautem Überhitzungsschutz; Rechenprogramme und Handbücher für Planer von Tageslichtsystemen.

Im Programm 1988 waren allzu geringe Mittel für P+D-Anlagen eingeplant, als dass die **Umsetzung** der Forschungsergebnisse durchwegs als gelungen bezeichnet werden könnte. Immerhin resultierten aus dem Projekt »Luftströmungen in Gebäuden« starke Impulse für die Lüftungsbranche. Das Programm 1996/99 sieht zur Umsetzung Mustersanierungen typischer Problemfälle bei Mehrfamilienhäusern und Bürogebäuden vor, dazu Informationskampagnen. Für letztere müssen bessere Wege gefunden werden, denn der Wissensstand unter Architekten und Bauherren hat – vor allem wegen allzuvieler sowie schlecht lesbarer Projektberichte – nicht Schritt gehalten.



Dieses als Demonstrationsprojekt geförderte Mehrfamilienhaus in Plan-des Ouates hat dank Anwendung neuester Erkenntnisse eine Energiekennzahl von 250 Megajoule je m² und Jahr – ein Drittel jener von normalen Wohnbauten.



Auch traditionelle Architektur lässt sich mit modernen energiesparenden Bauelementen verbinden – dieses Einfamilienhaus in Gonten speichert Wärme von Luftkollektoren in massiven Betondecken.

Schwachstellen von Produkten und Verfahren aufzuzeigen und Behörden Entscheidungshilfen zu geben.

Unter **Tageslichtnutzung** versteht man das Aufhellen von Innenräumen durch Tageslicht. Ziele sind Einsparen von Kunstlicht und erhöhtes Wohlbefinden insbesondere in grossen Büros. Tageslicht wird durch geeignet angeordnete Fenster (z.B. Oberfenster), Atrien (verglaste Lichthöfe), Reflektoren, Spiegel oder Lichtkanäle gezielt ins Gebäudeinnere geleitet.

Unter **Gebäudesystemen** versteht man das den Energiebedarf bestimmende Zusammenwirken von Gebäudehülle, Gebäudeinnerem und Haustechnik.

Haustechnik ist ein Sammelbegriff für alle technischen Installationen in Gebäuden: Elektro-, Wasser und Sanitäranlagen, Heizung und Lüftung/ Klimatisierung (HKL) sowie Breitband-Kommunikation (für Regelung und Steuerung der übrigen Anlagen).

Die energietechnische Güte eines Gebäudes bzw. der haustechnischen Anlagen wird durch die **Energiekennzahl** ausgedrückt, den auf einen m² Nutzfläche bezogenen bzw. **spezifischen Energieverbrauch**. 1970 waren seine Durchschnittswerte 570 Megajoule je m² und Jahr (MJ/m²a) für Heizung und 200 MJ/m²a für Strom. Nach neuesten Erkenntnissen erstellte Gebäude kommen auf viel tiefere Werte (etwa 150 MJ/m²a für Heizung, rund 30 MJ/m²a für Strom. Bis 2020 erscheint eine weitere Halbierung möglich.

Vor allem bei Bürogebäuden ist eine **Kühlung** in der warmen Jahreszeit immer mehr gefragt. Da herkömmliche Klimaanlage viel Strom verbrauchen, gewinnt die **passive Kühlung** rasch an Bedeutung: Nachtlüftung, in erdverlegten Röhren gekühlte Luft, Grund- oder Seewasser wird durch Rohre in Boden und Decken gepumpt, Energie muss nur für das Pumpen aufgewendet werden.

Bereiche

Gebäudesysteme und -hülle

Haustechnik HLK

Solararchitektur und Tageslichtnutzung

Stromsparende Anlagen und Geräte

An älteren **Fernsehern** und **Computern** ist die **Stromverschwendung** spürbar: Sie heizen sogar in Wartestellung, dem »Standby«, Heim und Büro mit. Viele **Heizungs-Umwälzpumpen** sind ebenfalls Stromfresser. Im Einzelfall ist die Verschwendung nicht weltbewegend. Da aber die Zahl dieser Geräte in die Millionen gehen kann, **summieren sich auch kleine Verluste landesweit zu ansehnlichen Energiebeträgen**. Auch bei der **Stromerzeugung** lassen sich die **Wirkungsgrade** vielfach noch erhöhen, bei der **Stromverteilung** die **Netzverluste** senken.

Zwar sind F&E bei Erzeugung und Verteilung seit jeher Sache der Hersteller und Betreiber, doch sah sich das BEW Ende der 1980er-Jahre veranlasst, durch **gezielte Forschung zum Stromsparen** bei elektrischen Geräten und Anlagen anzuregen. Das 1990 angelaufene Forschungsprogramm trug denn auch Früchte – zwei Beispiele von vielen:

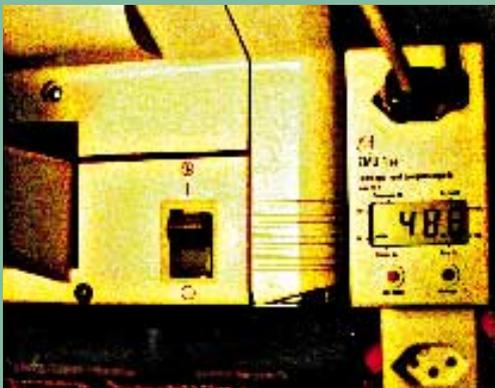
- Grundwissen und Vorschläge für die **Reduktion der Standby-Verluste** von Büro- und Unterhaltungselektronik wurden erarbeitet und Hersteller wie Käufer sensibilisiert.
- Der Prototyp einer **Klein-Umwälzpumpe hat einen verdreifachten Wirkungsgrad**.

Das Programm 1996/99 zeigt Schwerpunkte auf, **wo noch Forschung nötig ist**, um Potentiale für weitere Verbesserungen auszuschöpfen.

- Verlustfreie Stromübertragung versprechen Transformatoren und Kabel aus **Hochtemperatur-Supraleitern**. 1986 in der Schweiz entdeckt, werden diese Keramiken weltweit intensiv erforscht, weil sie bei tragbarem Kühlaufwand keinen elektrischen Widerstand und folglich auch keine diesbezüglichen (sich als Erwärmung äussernden) Verluste haben. Ein Problem besteht darin, diese **spröden Materialien** zu Drähten und Bändern zu formen.
- 1990 hatte eine Studie ergeben, dass die in Gewerbe und Industrie weitverbreiteten Drehstrom-Asynchron-Normmotoren bis 22 Kilowatt Leistung besonders hohe Verluste haben. Auch sind die Antriebssysteme – Umrichter, Elektromotor, Steuerung, Getriebe und anzutreibende Anlage – kaum auf minimalen Energieverbrauch hin konstruiert. Daher sollen sie um einen neu zu entwickelnden **»Integralmotor«** herum optimiert werden, in den Frequenzumrichter (zur energiesparenden Drehzahlregelung) und Steuerung bereits eingebaut sind.
- In **EDV-Netzwerken** könnte **»Power-Management«**, am Bedarf orientierter automatisierter Betrieb von Computern und Netzteilen, viel Strom sparen (z.B. durch automatisiertes Ausschalten nachts und an Wochenenden).
- Das Demand-Side- bzw. **Nachfrage-Management**, die gezielte Beeinflussung von Strom-Endnutzern zur rationellen Nutzung, soll gefördert werden.

Projekte für die Stromerzeugung mit erneuerbarer Energie sind in anderen Programmen angesiedelt, nämlich bei Kleinwasserkraftwerken, Photovoltaik und Windkraftanlagen.

F&E über die Standby-Verluste von Büro- und Unterhaltungselektronik (»Die heimlichen Stromfresser«) haben national wie international Wirkung erzielt: Die Schweiz hat als erstes Land Zielwerte für diese Verluste eingeführt; ausländische Hersteller haben Geräte mit wesentlich reduziertem Verbrauch auf den Markt gebracht. Die laufenden Forschungen sollen ähnlich **wirksam umgesetzt** werden.



Ausgeschaltet (s. den Schalter links), dennoch fast 50 W Standby-Verlust (Messung rechts) – »heimliche Stromfresser« wie dieser Kopierer wurden dank BEW-Programmen entlarvt und daraufhin von den Herstellern verbessert.



Dieser neuartige 3-kW-Integral-Elektromotor ist dank »integriertem« Frequenzumrichter (links), der die Drehzahl regelt, und eingebauter Steuerung ein energiesparender »Komplettantrieb«.

Elektrizitäts-Lexikon

Der in zentralen **Kraftwerken** (z.B. Wasser-, Kernkraftwerk) erzeugte Drehstrom wird in **Transformatoren** auf hohe Spannung gebracht und durch **Überlandleitungen** zu **Verteilknoten** übertragen (Hochspannung vermindert die Übertragungsverluste). An diesen Knoten wieder auf niedrigere Spannung transformiert, fließt der Strom über **Verteilungen** zu den **Verbrauchern**.

Überland- und Verteilungen, Transformator- und Verteilstationen bilden ein **Stromnetz**. Werden Netze zusammengeschlossen, entsteht ein **Verbundnetz**. Sein Zweck ist, bei Ausfall eines Kraftwerks die Stromversorgung aus anderen Kraftwerken zu sichern.

Um die **Netzverluste** aufgrund des elektrischen Widerstands zu vermindern, erforscht man Kabel aus **Hochtemperatur-Supraleitern**. Diese haben keinen Widerstand mehr, wenn sie unter etwa -150 °C gekühlt werden (mit flüssigem Stickstoff).

Kleine, **dezentrale Stromerzeuger**, z.B. Kleinwasserkraftwerke oder PV-Anlagen, können ebenfalls Strom ins Netz einspeisen, sind aber aufgrund der Unregelmässigkeit ihrer Produktion keine Netzstützen.

Zur Deckung hoher Strombedarfs-spitzen dienen **Speicherkraftwerke**. Kleinere Schwankungen können auch mit **Stromspeichern** – z.B. Akkumulatoren oder **Schwungrad-Generatoren** – ausgeglichen werden.

In **Elektrizitäts-Verbrauchern** – Motoren und Geräten – entstehen ebenfalls Verluste, vor allem aufgrund des Widerstands, aber auch wegen nicht optimaler Konstruktion.

Der **Wirkungsgrad** ist das Verhältnis von abgegebener zu aufgenommener Leistung, der **Nutzungsgrad** das Verhältnis von abgegebener zu zugeführter Energie. Im Sprachgebrauch setzt man die beiden Begriffe oft gleich.

Bereich
Elektrizität,
Geräte

Umgebungs- und Abwärmennutzen

Niedertemperatur-Wärme für Raumheizung, Warmwasserbereitung und industrielle Verfahren beansprucht in der Schweiz mehr als die Hälfte aller Endenergie. Nun verbrennen die meisten **Heizungen Öl oder Gas** mit einer **Ausnutzung der Brennstoffenergie bzw. Endenergie**, die bei älteren Anlagen um die 80 % und bei den modernsten nahe 100 % liegt! Hier setzt Energiesparen also Heizsysteme mit noch besserer Energienutzung voraus. Nutzen diese auch noch erneuerbare Energie, wie z.B. Umgebungswärme, so ist auch der Umwelt gedient.

Wärmepumpen und Wärme-Kraft-Kopplung haben höhere Energienutzungsgrade und sind als Einzelfälle schon lange bekannt. Aber erst nach den Ölkrisen 1973 und 1979 wurde man sich ihres Potentials für die allgemeine Raumheizung bewusst. Zugleich erkannte man den grossen Bedarf an F&E, um sie zu wintertauglichen und wirtschaftlichen Heizanlagen weiterzuentwickeln. Die Förderung dieser F&E wurde in der Schweiz (und international) nun massiv verstärkt. Ende 1995 präsentierten sich die **Ergebnisse dieser F&E-Arbeiten** wie folgt:

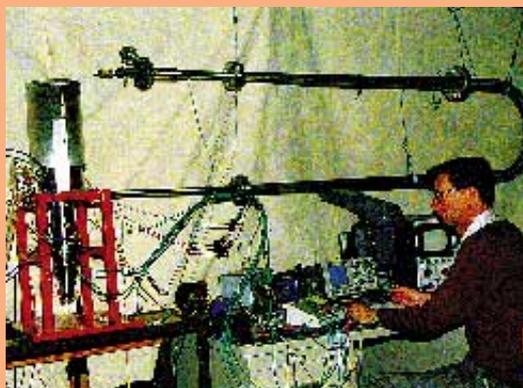
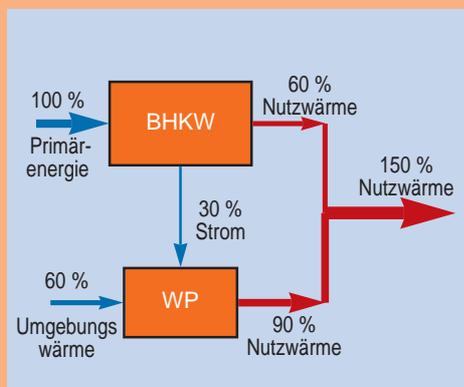
- Bei **Wärmequellen** (für Umgebungswärme) konnte das Wissen um die optimale Auslegung von Erdwärmesonden (s. »Heizwärme aus der Tiefe«) wesentlich verbessert werden.
- **Arbeitsmittel** mit geringem oder keinem Treibhauseffekt lösen die herkömmlichen FCKW ab. Anlagekomponenten und Prozessführung müssen daran angepasst werden.
- **Elektro-Wärmepumpen**: Versuche, mit variabler Kompressordrehzahl die Heizleistung an den Bedarf anzupassen und damit viel Energie zu sparen; Entwicklung einer Klein-Wärmepumpe mit Aussenluft als Wärmequelle zum Ersatz von Elektro-Speicherheizungen.
- Tauglichkeit und **140 % Ausnutzungsgrad** einer **neuartigen Absorptions-Wärmepumpe** (ohne Motor oder Kompressor) eines Schweizer Erfinders nachgewiesen.
- Kombination von BHKW mit (von dessen Strom angetriebener) Wärmepumpe ergibt **bis zu 200 % Endenergienutzung**. Erprobung von **Holz-BHKW**, **Diesel-BHKW mit Abgas-Entstickung** und **Klein-BHKW** (für dezentrale Stromerzeugung bisher weder ökologisch noch ökonomisch).

Es besteht dennoch **weiterer Bedarf für F&E** mit folgenden **Hauptzielen** 1996/99:

- Entwicklung zuverlässiger und auch für die höheren Heizungs-Vorlauftemperaturen bei älteren Gebäuden **wirtschaftlicher Wärmepumpen**.
- Schliessen der Wissenslücken in bezug auf alternative, vor allem **natürliche Arbeitsmittel**.
- Bau und Erprobung von **Brennstoffzellen-BHKW** als P&D-Anlagen (s. S. 18).
- **System-Optimierung**, d.h. Steigerung von Energieausnutzung und Betriebssicherheit von Heizsystemen, z.B. der Kombination von BHKW und Wärmepumpen oder der neuartigen Absorptions-Wärmepumpe mit einem Gasheizkessel (zur Deckung des Spitzenbedarfs).

Die Mittel zur Förderung, insbesondere von P&D-Anlagen, sind eher knapp bemessen, so dass die Auswahl der geförderten Projekte streng nach Dringlichkeit und Qualität erfolgen muss.

Wie erfolgreich die **Umsetzung** bisher gewesen ist, zeigt die Tatsache, dass Ende 1995 in der Schweiz mehr als 47.000 Heizungs-Wärmepumpen installiert waren. Über weitere Fortschritte informieren laufend **Fachtagungen** und **Kurse** sowie **Schriften**. Angestrebt wird eine noch stärkere aktive Beteiligung von Industriepartnern an F&E.



Wenn mit dem Strom aus einem Blockheizkraftwerk (BHKW) noch eine Elektrowärmepumpe (WP) angetrieben wird, resultieren aus 100 % aufgewendeter Primär-energie 150 % und mehr Nutzwärme.

Diese neuartige Wärmepumpe nutzt das Stirling-Prinzip. Kernstück ist ein 5 m langes Resonanzrohr, worin eine schwingende Gassäule die Energie des Stirling-motors auf eine Stirlingwärmepumpe überträgt.

Wärme-Lexikon

Umgebungswärme ist die in der Luft, in Erdboden, Grundwasser, Flüssen und Seen enthaltene Wärme. Sie zählt zu den erneuerbaren Energien.

Unter **Abwärme** versteht man bei technischen Vorgängen entstehende Wärmeströme, die ungenutzt an die Umgebung abgegeben werden – z.B. die in der Abluft von Gebäuden enthaltene oder die von Motoren an das Kühlwasser abgegebene Wärme.

Umgebungs- und Abwärme haben im allgemeinen **zu niedrige Temperatur**, als dass man sie direkt für Heizung, zur Warmwasserbereitung oder für industrielle Verfahren (»Prozesse«) verwenden könnte.

Mit **Wärmepumpen** ist eine Nutzung aber möglich, weil sie die Temperatur in gewissen Grenzen anheben (z.B. von 10 °C eines Grundwassers auf 40 °C für eine Fussbodenheizung). Zugleich liefern sie mehr Energie als sie zu ihrem Antrieb verbrauchen.

In Wärmepumpen verdampft die Umgebungs- oder Abwärme ein **Arbeitsmittel** (z.B. Ammoniak). Dieser Dampf wird komprimiert und erwärmt sich dabei. Bei der nachfolgenden Kondensation in einem Kondensator gibt der Arbeitsmitteldampf Nutzwärme an den Heizkreislauf ab. Zur Komprimierung dient meist ein Kompressor. Wird er von einem Elektromotor angetrieben, spricht man von Elektro-Wärmepumpen, ist es ein Verbrennungsmotor, von Motor-Wärmepumpen.

Von **Wärme-Kraft-Kopplung**, kurz WKK, spricht man, wenn die Abwärme einer Kraftmaschine genutzt wird. Beispielsweise treibt in einem **Blockheizkraftwerk** (BHKW) ein Verbrennungsmotor einen Strom-Generator, zugleich nutzt man die Wärme des Kühlwassers und der Auspuffgase für Heizzwecke.

Bereich

Umweltwärme,
Wärme-Kraft-
Kopplung

Seite 7

Sonnenkollektoren für Warmwasser und Heizung

Elemente der Solararchitektur (s. S. 4/5) nutzen die Sonnenenergie allein aufgrund ihrer Gestaltung: Fenster z.B. lassen Sonnenstrahlen herein, Wärmeabstrahlung aber nicht mehr hinaus – und kein Teil bewegt sich. Daher spricht man auch von »passiver« Solarnutzung. Im Kreislauf der **Kollektoren** hingegen, die der Architekt auf dem Dach einplant, steuern **»aktive« Elemente wie Pumpen und Ventile** das Fließen des Wärmeträgers.

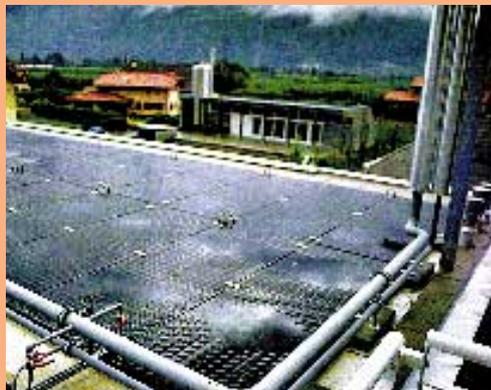
In der Schweiz hat die »aktive« Solarnutzung schon bald nach der Ölkrise 1973 Fuss gefasst. Kleine und mittelständische Unternehmen brachten zuerst Flachkollektoren und dann auch ganze Solaranlagen auf den Markt. Investitionsförderung durch die Kantone sorgte und sorgt weiterhin für deren wachsende Verbreitung. Und die Umsetzung von Ergebnissen der öffentlich geförderten F&E hat dazu beigetragen, dass Anlagen für die solare Wassererwärmung und Heizungsunterstützung oder gar Voll-Heizung längst ausgereift sind. Mit über 500.000 m² Kollektorfläche, davon rund die Hälfte zur Heubelüftung auf Hunderten Bauernhöfen, **zählt die Schweiz heute zu den Ländern mit der höchsten Kollektordichte je Einwohner**. Am Interkantonalen Technikum Rapperswil besteht ein international einmaliges Testzentrum für Kollektoren. Und den Planern stehen ausgereifte PC-Dimensionierungsprogramme zur Verfügung.

Warum dann noch weitere Forschung? Weil **der aktiven Solarnutzung grosse Bedeutung bei der Substitution von Heizöl und damit bei der Luftreinhaltung zugemessen** wird (der Jahresertrag von 1 m² Flachkollektor beträgt über 350 kWh, entsprechend 45 l Heizöl). Weitere gute Gründe: Auch die ausgereiften Anlagen bieten noch Spielraum für Verbesserungen, und **die Anlagen müssen wesentlich billiger werden**, um die wünschenswerte Verbreitung zu finden.

Folglich ist Reduktion der Wärmegestehungskosten – neben Qualitätssicherung – auch das übergeordnete Ziel des BEW-Forschungsprogramms 1996/99:

- **Verglasten Kollektoren und ihren Bauteilen** – Absorber, Glasabdeckung, Wärmedämmung, Rohrverbindungen, Solarpumpen – sollen **neue Materialien und Konzepte** zu höheren Wirkungsgraden und tieferen Herstellungskosten verhelfen.
- **Nicht-abgedeckte Kollektoren**, z.B. solche aus rostfreiem Stahl, bieten sich **für Dach- und Fassadenintegration** an, bedürfen dafür aber noch der Weiterentwicklung zu Systemen.
- Kollektorsysteme müssen **generell einfacher und besser für die Integration angepasst** werden – z.B. als Fassaden-Gestaltungselemente.
- Definition und Entwicklung einer **kompakten, standardisierten Anlage für Warmwasser in Mehrfamilienhäusern**.
- Forschung an einem Prototyp soll die **Möglichkeiten eines solaren Kleinkraftwerks von 10 bis 15 kW** elektrischer Leistung mit Röhrenkollektoren und einer speziellen Dampfturbine für Bergregionen ausloten.

Zur Förderung der **Umsetzung** sollen – neben Fachtagungen, Fachartikeln und breit gestreuten, allgemeinverständlichen Informationen – zahlreiche P&D-Anlagen errichtet werden, die dem Bauherrn technisch optimierte, aber doch sehr praktische, leicht verständliche und preisgünstige aktive Systeme für Warmwasser und Heizung vor Augen führen.



Seit 1990 besteht am Interkantonalen Technikum Rapperswil eine in Europa führende Prüf- und Forschungsstelle für Sonnenkollektoren. Im Bild der Freiluftprüfstand mit voll-automatischer kontinuierlicher Messung.

Neuartiges Solardach aus integrierten Edelstahlabsorbieren ohne Glasabdeckung: 1/3 weniger Ertrag als abgedeckte Kollektoren, aber Bruchteil des Preises. Im Bild: Praxis-Erprobung in Saillon.

Kollektor-Lexikon

Sonnenstrahlung hat eine sehr geringe Leistungsdichte – in Mitteleuropa im Durchschnitt 0,1 kW/m² (an der Brennraumwand von Öl- und Gasbrennern etwa 500 kW/m²). Daher benötigt man zum »Einsammeln« grosse Flächen. Je höher der Wirkungsgrad solcher Kollektoren, desto geringer Fläche und Kosten. Kollektoren sind somit **Schlüsselemente** der aktiven Solarnutzung.

Im **Kollektor** nimmt ein Absorber Sonnenstrahlung auf und gibt sie als Wärme an einen gasförmigen oder flüssigen Wärmeträger weiter, der diese Wärme einer Nutzung zuführt. Die vielen Kollektor-Bauformen lassen sich nach Anwendung bzw. erreichbarer Temperatur einteilen. Die für die Schweiz wichtigsten Grundformen:

□ **Flachkollektoren** (für Warmwasser und Heizung) haben als Absorber eine geschwärzte Metall- oder Kunststoffplatte. Wärmeträger ist Sole (mit Frostschutz gemischtes Wasser) oder Luft. In verglasten Kollektoren hält Glas die Wärmeabstrahlung des Absorbers weitgehend zurück. **Wirkungsgrade um 35 %, Wärmeträger bis zu 150 °C**. Nicht abgedeckte Kollektoren erreichen bis zu 60 °C, sind aber dank Wegfall von Abdeckung und Abdichtung wesentlich billiger.

□ In **Röhren- oder Vakuumkollektoren** ist der Absorber von einer luftleeren Glasröhre umgeben, was die Wärmeverluste stark vermindert. Wirkungsgrad über 50 %, Temperaturen bis 250 °C, daher auch für Prozesswärme und Dampferzeugung geeignet, aber teuer. Ein Kollektorsystem umfaßt Kollektor, Montagegestell und Verbindungsrohre. »Integration« als Dach- oder Fassadenelement spart die übliche Dach- oder Fassadenabdeckung.

Teilbereich
Solarwärme

Strom von Dach und Fassade

Die Photovoltaik ist attraktiv: Ein Halbleiterplättchen erzeugt im Sonnenlicht lautlos, bewegungs- und emissionsfrei Strom. Seit den 1970er-Jahren werden Module und Anlagen kommerziell angeboten. **Für die Schweiz ist die PV zur Strom-Eigenversorgung und als Export-Chance für PV-Technik von Interesse.** Daher setzte die Forschungs-Förderung schon in den 1970er-Jahren ein. Die wichtigsten Ergebnisse dieser F&E-Arbeiten bis Mitte der 1990er-Jahre:

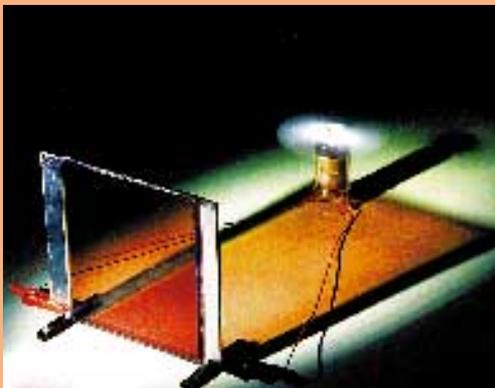
- Forscher und Industrie verfügen über ein **breites Wissen bezüglich Anlagenplanung, -bau und -komponenten**, das – ausser in entsprechenden Produkten – auch in PC-Programmen für Dimensionierung und Simulation von PV-Anlagen sowie in Datenbanken über die marktgängigen Module festgehalten ist.
- **Bei der Entwicklung von Komponenten** – wie Wechselrichtern, Modul-Befestigungs- und Verbindungstechnik – wurde **Pionierarbeit** geleistet.
- Die Schweiz ist auch **Pionier der Gebäudeintegration** (Motiv: der Mangel an verfügbarem Boden). Solar-Dachziegel und PV-Fassadenelemente sind schweizerische Entwicklungen, die auch schon als Produkte angeboten werden.
- Dank Grundlagenforschung zu **neuen PV-Materialien und neuen Zellentechnologien** halten die Schweizer Forscher Anschluss an die führenden Länder.

Mit Tausenden Anlagen – von Kleinanlagen mit wenigen Watt bis zum PV-Kraftwerk Mont Soleil mit 500 kW Leistung – und insgesamt über 8 MW installierter Spitzenleistung hat die Schweiz **weltweit die höchste Solarzellen-Dichte pro Einwohner**. Jüngste Abschätzungen weisen 100 bis 200 km² Dachflächen und 45 bis 75 km² Fassaden als PV-geeignet (d.h. im wesentlichen süd-orientiert) aus bzw. die darauf (mit heutigen Solarzellen) installierbare Spitzenleistung mit 15.000 bis 27.000 Megawatt, ausreichend, um einen ansehnlichen Anteil des Schweizer Strombedarfs zu decken.

Davor stehen jedoch die **hohen Kosten**. Eine kWh Solarzellenstrom kommt heute günstigstenfalls auf 90 Rappen (gegenüber 5 Rappen aus Wasser- und 10 bis 15 Rappen aus Kernkraftwerken). Darum **zielen die weltweiten Forschungen auf Verbilligung** über preisgünstigere Herstellungsverfahren oder Zellenkonzepte, niedrigere Systemkosten oder über die Erhöhung des Wirkungsgrades. Diese Linie verfolgen auch die Schweizer Forschungsziele 1996/99:

- **Forschung** und Entwicklung auf dem Materialsektor, nach Zellen aus extrem dünnen Siliziumschichten, nach Mehrschicht-Zellen (z.B. Tandem-Zellen, in denen zwei dünne Zellen aus Materialien mit unterschiedlicher spektraler Empfindlichkeit – die eine z.B. im Rot-, die andere im Violettbereich der Sonnenstrahlung – übereinandergeschichtet werden, um einen höheren Gesamtwirkungsgrad zu erzielen) sowie **nach neuartigen Zellentechnologien**.
- Systeme und Produkte für die **Gebäudeintegration**.
- Weitere **Vereinfachung der Systemtechnik**.

Umsetzbarkeit ist seit jeher zugleich **Hauptziel und Auswahlkriterium der PV-Forschungs-Förderung**. Module (z.B. Solar-Dachziegel), Wechselrichter und neue Lösungen für die Gebäudeintegration (auf Dächern und Fassaden) werden in Zusammenarbeit mit der Industrie entwickelt. Auch Planungshilfen und Referenzwerke unterstützen die Umsetzung. P&D-Anlagen dienen auch der Ausbildung (von Elektroberufs- bis zu Hochschulen).



Neuartige »nanokristalline« Solarzellen der ETH Lausanne beruhen auf organischen Farbstoffen. Die Zellen befinden sich noch im Entwicklungsstadium, vor allem ihre Langzeitstabilität muss erst noch nachgewiesen werden.



Eine Gebäudeintegration von photovoltaischen Solarzellen mit gleichzeitiger Tageslichtnutzung ermöglichen diese lichtdurchlässigen Dachplatten, in welche die Solarzellen eingelassen sind.

Photovoltaik-Lexikon

Als **Photovoltaik**, kurz PV, bezeichnet man die Technik der Halbleiter-Solarzellen. In diesen besteht eine Grenzschicht zwischen zwei unterschiedlich leitenden Halbleitern. Sonnenlicht löst an dieser Grenzschicht Ladungsträger ab, so dass eine elektrische Gleichspannung entsteht. Sie beträgt bei den meisten Materialien etwa 0,5 Volt. Mit Stromabgriffen auf der Vorder- und Rückseite versehen, bildet das Plättchen eine **Solarzelle**.

Geeignete Halbleiter sind in erster Linie Silizium, für spezielle Fälle auch Galliumarsenid und Kadmiumverbindungen.

Kommerzielle Solarzellen bestehen durchwegs aus kristallinem oder amorphem Silizium. Ein(mono-)kristalline erreichen mit rund 15 % den höchsten Wirkungsgrad, bei der typischen Solarzellengrösse von 100 cm² leisten sie maximal (in der Mittagssonne im Sommer) etwa 1,5 W_p (Watt peak = Spitzenleistung). Viel(poly-)kristalline kommen auf ca. 12 %, amorphe auf 6 % (letzterer Wert vermindert sich in den ersten Betriebsmonaten, **Degradation** genannt).

Neuere Entwicklungen sind z.B. dünne kristalline Siliziumschichten oder **farbstoffsensibilisierte nanokristalline Schichten** (ein Farbstoff wandelt Sonnenlicht in Strom um).

Miteinander verschaltete und wetterfest verkapselte Solarzellen bilden einen anschlussfertigen **PV-Modul**, mehrere Module ein PV-Feld. Das PV-Feld mit den notwendigen Zusatzaggregaten wird als PV-Anlage bezeichnet.

PV-Anlagen können im **Inselbetrieb** (Stromversorgung ohne Netzanschluss) oder **netzgekoppelt** (Einspeisung ins Netz) betrieben werden. Netzkopplung benötigt einen **Wechselrichter**, der den Gleichstrom der Solarzellen in den Netz-Wechselstrom umwandelt.

PV-Anlagen kann man frei aufstellen (z.B. auf dem Dach oder im Gelände) oder **in ein Gebäude integrieren** (die Module bilden dann die Dachhaut oder die Fassade).

Teilbereich
**Photo-
voltaik**

Für mehr und saubere Energie aus Holz und übriger Biomasse

In der Schweiz wächst jedes Jahr so viel Biomasse, dass man mit ihrem Energiegehalt einen Grossteil des Landesenergiebedarfs decken könnte. Aber lediglich Holz dient seit jeher in ländlichen Gegenden als Brennstoff für die Raumheizung, in jüngerer Zeit auch für Cheminée-Öfen in Städten. Und auch dieses Brennholz macht mit 2,2 Mio. m³ nur ein Drittel des gesamten Schweizer Holzverbrauchs aus (je ein weiteres Drittel wird zu Papier und Bau- bzw. Möbelholz verwertet). Es wächst mehr nach als geerntet wird, so dass **zwei- bis dreimal so viel Brennholz gewonnen werden könnte wie heute, ohne die Wälder zu übernutzen.**

Da aber **Biomasse eine einheimische und noch dazu erneuerbare Energiequelle und somit für Versorgungssicherheit wie Umweltschutz von Interesse** ist, wird F&E mit dem Ziel vermehrter Nutzung (auch durch Kostensenkung) öffentlich gefördert und koordiniert. Das BEW hat diese Forschung auf zwei Bereiche aufgeteilt.

Im **Bereich »Holz«**, welcher **Waldholz, Restholz und Altholz** umfasst, hat die Forschung in den vergangenen Jahren grosse Fortschritte erzielt, und dank rascher Umsetzung der Forschungsergebnisse sind **heute gut umweltverträgliche und mit hohem Wirkungsgrad arbeitende Verbrennungsanlagen** aller Leistungsklassen – vom Warmluftcheminée bis zum Holzschnitzel-Blockheizkraftwerk – auf dem Markt (Ende 1995 zählte man in der Schweiz 620.000 Stückholz-Öfen und -herde, rund 4500 automatische Holzfeuerungen sowie 26 Altholzfeuerungen). **Forschungsbedarf** in der Periode 1996/99 besteht daher **nur noch punktuell**:

- Handbeschickte **Klein-Holzfeuerungen sollen besser an die Bedürfnisse** – geringe Heizleistung und lange Betriebszeiten – **von Niedrigenergiehäusern angepasst werden.**
- Bei automatischen Feuerungen** steht die weitere **Reduktion der Schadstoffemissionen im Vordergrund**: Feuerungsräume mit vollständiger Verbrennung; Massnahmen zur Stickoxid-Minderung; Rückhaltung von Russpartikeln.

Auch **im Bereich »Übrige Biomasse«** wird, dank F&E-Erfolgen, **nur noch in Teilgebieten Forschung** (bei organischen Abfällen und Abwässern aus Kläranlagen, Kehrlichtverbrennung und Deponien überhaupt keine mehr) als nötig erachtet:

- Entwicklung und Systemoptimierung von Biogas- und Vergasungsanlagen** für landwirtschaftliche, kommunale und gewerbliche Abfälle.
- Fortsetzung von **Versuchen zur Verbrennung von Energiegras oder Chinaschilf**, um z.B. Probleme von Ascheanbackung (im Feuerraum) und Ablagerungen (im Kesselbereich) zu lösen.
- Anpassung von Motoren an unbehandelte Bio-Treibstoffe** (z.B. Rapsöl), aber umgekehrt auch **Anpassung von Treibstoffen an die Motoren** (z.B. Aufbereitung von Biogas zu einem hochmethanhaltigen Brenngas ähnlich Erdgas).

Zur **Umsetzung** werden, neben Fachberichten und Fachtagungen, P&D-Anlagen gefördert. Solche P&D-Anlagen sind im Bereich »Holz« z.B. eine Anlage zur emissionsarmen Altholzverbrennung (für die Stromerzeugung mittels Dampfturbinen) und im Bereich »Übrige Biomasse« z.B. eine Anlage zur Veresterung von Rapsöl (für die Nutzung als Motortreibstoff).



Das Kompostier- und Vergärwerk in Baar setzt jährlich 18.000 t Bioabfälle um. Das neuartige, energieautarke Verfahren liefert sogar Stromüberschuss und ist dank einem Biofilter (im Bild) zur Abluftreinigung abwasserfrei.



Grössere Anlagen zur Holzverbrennung arbeiten mit Holzschnitzeln. Wirtschaftlicherweise zerkleinert man dazu das Holz an Ort und Stelle im Wald mit speziellen Maschinen zu Holzschnitzeln.

Biomasse-Lexikon

Unter **Biomasse** im energetischen Sinn versteht man alle organischen Stoffe und Reststoffe aus Landwirtschaft, Wald, Garten, Haushalt, Gewerbe, Industrie, aus denen sich Energie gewinnen lässt: Dung, Jauche, Stroh, Holz, stärke- und zuckerhaltige Pflanzen, nährstoffhaltige Abwässer der Nahrungsmittelherstellung, Klärschlamm und Kehrlicht.

Da Mensch und Tier sich von Pflanzen ernähren und weil diese (bei ungefähr 0,1 % Nutzungsgrad) mit Hilfe von Sonnenenergie wachsen, ist Biomasse-Energie **erneuerbare Energie**. Der jährliche Zuwachs pflanzlicher Biomasse auf der Erde wird auf 200 Mrd. t geschätzt, deren Energieinhalt entspricht dem aller bekannten Ressourcen an den fossilen Brennstoffen Erdöl, Erdgas und Kohle.

Die wichtigsten **Umwandlungsverfahren** zur Gewinnung von Biomasse-Energie aus Biomasse sind Verbrennung, Vergasung (durch Erhitzen unter Luftmangel), Vergärung (zu Alkoholen) sowie die Verwendung von Pflanzenölen als Bio-Treibstoffe.

Biomasse ist ein **komplexes Gemisch von Kohlehydraten**. Daher entstehen bei der energetischen Umwandlung **Schadstoffe**, vor allem Asche, Kohlendioxid (CO₂), Stickoxide, Schwefeldioxid und Kohlenwasserstoffe sowie Russ und Staub.

Gegenüber fossilen Brennstoffen hat Biomasse den Vorteil, »**CO₂-neutral**« zu sein: Ebensoviele CO₂, wie bei ihrer energetischen Nutzung entsteht, hat sie zu ihrer Bildung aufgenommen bzw. dient zur Bildung neuer Biomasse. Dies gilt jedoch nur, wenn kein Raubbau betrieben bzw. zur Verwertung der Biomasse kein fossiler Brennstoff eingesetzt wird.

Altholz enthält meistens noch Chemikalien, z.B. Holzschutzmittel, und bedarf daher bei Verbrennung spezieller Verfahren zur Emissionsreduktion.

Bereiche

Holz

Übrige Biomasse

Heizwärme (und Strom?) aus der Tiefe

Erdwärme ist **auch für die Schweiz eine interessante, praktisch unerschöpfliche Energiequelle**, die sich mit Hilfe spezieller Techniken erschliessen lässt. Mitte der 1970er-Jahre setzte der Bund eine »Eidgen. Kommission für Geothermie und unterirdische Wärmespeicherung« ein. Von ihr veranlasste Forschungen mündeten u.a. **1982 in eine Erdwärme-Karte der Schweiz**, die **Mittelland und Ober- rheingraben als Hoffungsgebiete für Warmwasser** auswies. 1980 erfand ein Schweizer die Erdwärmesonde (EWS). Die Forschungs-Förderung richtete sich vor allem auf diese beiden Techniken aus. **Der F&E-Leistungsausweis Mitte der 1990er-Jahre:**

- **Wissenschaftliche Grundfragen der Erdwärmesonden waren beantwortet** (z.B., dass der Untergrund mit der Zeit nicht auskühlt) und **gute technische Lösungen gefunden**.
- Die erste **Tiefen-Erdwärmesonde zur Raumheizung** ging 1995 in Weggis in Betrieb.
- **Tiefbohrungen nach Warmwasser** waren an einigen Orten vergeblich, **in Riehen erfolgreich** (dort ist eine Fernwärmeversorgung aufgebaut worden). Die Erdwärme-Karte des Mittellands war vervollständigt (kann aber keine Garantie für Bohrerfolg bieten).
- Geschätztes **Potential von EWS und Tiefenwässern: 6 % des Landes-Wärmebedarfs**.
- Ab 1995 **Nutzung warmer Tunnelabwässer** mit Fernwärmeversorgung von Oberwald aus dem Furka-Tunnel. Abklärungen über Temperaturen, Schüttung und Chemismus an weiteren Tunnelprojekten (Beispiele: Hauenstein-Basistunnel, Mappo Morettina, Ricken und St.Gotthard-Strassentunnel).
- **HDR- und HWR-Know-how** durch Beteiligung an internationalen Forschungsprojekten.

Weiterer Forschungsbedarf besteht, um die **Wirtschaftlichkeit zu erhöhen**, die **Umweltverträglichkeit zu verbessern** oder sicherzustellen sowie grundsätzliche Probleme zu klären.

- **EWS-Projekte** zielen auf besser wärmeleitende Hinterfüllungen, tiefere Sonden und grössere Sondenquerschnitte, Nutzung der EWS auch zur **Kühlung im Sommer** oder auf offene (d.h. Grundwasser direkt an die Wärmepumpe führende) Sonden, auf **Optimierung von EWS-Feldern** und Energiepfählen sowie die spätere **Entsorgung** von EWS.
- **An Tiefen-Erdwärmesonden müssen noch grundlegende Messungen durchgeführt werden**, um grössere Anlagen technisch und wirtschaftlich optimieren zu können.
- Studien zur Nutzung der Tunnelwässer in Projekten wie AlpTrans und Gotthard-Basistunnel.
- Erprobung von **Bohrtechniken mit geringeren Bohrllochdurchmessern** (»Slimhole«), die bis zu 50 % der Bohrkosten sparen können.
- **Mehrfachnutzung des Warmwassers in Kaskaden**, d.h. für unterschiedliche Zwecke nach abnehmender Temperatur, ist anzustreben.
- **Vorbereitung einer Schweizer HDR- oder HWR-Anlage** zur Strom- und Wärmeerzeugung.

Die erfolgreiche **Umsetzung** bei EWS (wie bei Tiefen-EWS) spiegelt sich darin, dass die Schweiz mit über 6000 EWS-Anlagen weltweit im Spitzenfeld liegt. Die fortgesetzte Zusammenarbeit von Forschern und EWS-Firmen zielt auf Steigerung der Sondenleistung und auf Verbilligung. In bezug auf Tiefbohrungen nach Warmwasser haben auch Fehlschläge die **Wissensbasis** für künftige Unternehmungen stark erweitert



Bei der geothermischen Tiefbohranlage in Reinach, BL, schützten Lärmschutzwände und -wälle die Anwohner vor dem Bohrlärm. Nach Abschluss der Arbeiten wurde der ursprüngliche Zustand wiederhergestellt.



Ein Dutzend Erdwärmesonden zur Heizung eines Mehrfamilienhauses ist schon in die Bohrungen abgesenkt. Vor der Überdeckung liegen die Rohrstränge zur Wärmepumpe im Keller noch offen.

Erdwärme-Lexikon

Erdwärme oder **Geothermie** hat ihren Ursprung im 6000 °C heissen Erdkern und in radioaktivem Zerfall in der festen Erdkruste. Die Temperatur nimmt, von etwa 10 °C nahe der Oberfläche, je 1000 m Tiefe im Mittel um 30 °C zu, sie beträgt also in 2000 m Tiefe rund 70 °C.

Erdwärmesonden (EWS) nutzen »untiefe« Erdwärme bis zu einigen 100 m Tiefe bzw. 20 bis 30 °C. Man steckt ein wenige cm starkes Kunststoff-U-Rohr in 150 bis 200 m tiefe Bohrungen und **hinterfüllt** den Zwischenraum mit wärmeleitendem Material. Durchgepumpte Sole erwärmt sich auf wenige °C, eine **Wärmepumpe** hebt die Temperatur auf 30 bis 50 °C für **Fussbodenheizungen**. Im Sommer lässt sich mit der Sole kühlen oder der Boden um die EWS zur **Wärmespeicherung** verwenden.

Energiepfähle (Pfehlgründungen) und -schlitzwände können ebenfalls als EWS ausgebildet werden. **EWS-Felder** heizen grössere Bauten.

»Tiefe« Erdwärme mit Temperaturen bis zu 200 °C soll in einigen 1000 m Tiefe genutzt werden, vor allem in »**geothermischen Anomalien**«, wo die Temperaturzunahme mit der Tiefe (der »Temperaturgradient«) grösser ist als der Mittelwert von 30 °C je 1000 m. Neben der **Erbohrung von Warmwasser** werden dazu drei Techniken verfolgt.

Tiefen-Erdwärmesonden, z.B. in 1000 bis 2000 m tiefe »tote« Bohrlöcher der Erdöl- und Erdgasexploration abgesenkt, erschliessen Temperaturen bis zu 70 °C und erübrigen so die nachgeschaltete Wärmepumpe.

Beim **HDR-Verfahren** werden in trockenem Tiefengestein (Hot Dry Rock) durch hydraulischen Druck Spalten aufgetrieben, in denen sich eingepresstes Kaltwasser erwärmt.

Im **HWR-Verfahren** (Hot Wet Rock) sollen tiefe, über 100 °C heisse Wasseradern angebohrt werden.

HDR- und HWR-Verfahren liefern Dampf, der sich sich zur Strom- und Wärmeerzeugung nutzen lässt.

Teilbereich
**Geo-
thermie**

Strom aus Wind ...

Windkraftanlagen verzeichnen seit der Ölkrise 1973 weltweit einen Boom, insbesondere an Meeresküsten. Die **Schweiz verfügt nur im Gebirge, z.B. auf dem Chasseral, über einige Standorte mit günstigen Windverhältnissen**, die annähernd an jene von Meeresküsten herankommen. Da die Windenergie mithin keinen wesentlichen Beitrag zur Landes-Stromversorgung zu leisten vermag, **stand eine eigene Forschung über die Technik von Windkraftanlagen (WKA) nie zur Diskussion**. Immerhin aber **könnte Windstrom lokal und regional eine Rolle spielen**. Daher liess das BEW 1987 **das gesamtschweizerisch »wirtschaftlich erschliessbare« Potential** erkunden: Etwa 1500 bis 1800 Gigawattstunden pro Jahr, entsprechend **ungefähr 3 % des heutigen Strombedarfs**. Legte man aber damals WKA mit 75 bis 150 Kilowatt Spitzenleistung zugrunde, so sind in den 1990er-Jahren Anlagen mit 500 bis 600 Kilowatt üblich geworden, die viel günstiger produzieren. Somit dürfte das Potential weit höher liegen.

Nach einer 1986 auf dem Sool errichteten 30-kW-Anlage sind von 1990 bis 1996 elf WKA bis zu 600 kW in Betrieb gestellt worden. Weitere sind geplant. Man hofft, auf Stromgestehungskosten von etwa 30 Rp. je kWh zu kommen (an der deutschen Nordseeküste werden bis hinab zu 10 Rp./kWh erzielt, Strom aus Schweizer Wasserkraftwerken kostet 6 Rp./kWh).

Als **Umsetzungshilfe** gefördert werden **Messprogramme an WKA**. Die Messergebnisse dienen auch einer **Wind-Datenbank**, die Standortwahl und -abklärung erleichtern soll. Auf einer Naturschutz- und **Windkarte** sollen Vorranggebiete für WKA ausgewiesen werden.

... und Kleinwasserkraftwerken

Die ersten stromerzeugenden Wasserkraftwerke waren Ende des 19. Jh. Kleinanlagen. Um und nach 1900 entstanden in der Schweiz Tausende. Später wurden viele aufgelassen, weil die neuen Grosswasserkraftwerke viel günstiger produzierten. In den 1980er-Jahren entdeckte sie die Energiepolitik wieder als **ergänzende, saubere Energiequelle**. Man zählte **noch 1000 funktionierende Anlagen**, die **9 % des Stroms aller Schweizer Wasserkraftwerke** liefern. Einzelne Kantone begannen, Reaktivierung, Erweiterung und Neubau zu fördern.

Im 1992 angelaufenen **DIANE-Programm »Kleinwasserkraftwerke«** des BEW wurde das Potential unter heutigen Rahmenbedingungen ermittelt: Die **Stromproduktion der Kleinwasserkraftwerke lässt sich verdoppeln**. Das setzt nicht nur Reaktivierung aufgelassener Anlagen und Erweiterung bestehender voraus, sondern auch **Neubauten**. Letztere bieten sich **in Trink- und Abwasserleitungen** mit genügend Gefälle und Wassermenge an.

Hauptziel der Forschungsförderung ist die Steigerung von Produktion und Wirtschaftlichkeit, generell durch Wirkungsgraderhöhung z.B. mit drehzahlvariablen Kleinturbinen. Transportable Kleinst- oder **Pico-Wasserkraftwerke** könnten Alpwirtschaften versorgen. Der höheren **Akzeptanz** dienen bessere **Einpassung in die Landschaft** sowie Fisch-Aufstiegshilfen mit geringem Wasserbedarf.

Zur **Umsetzung** von Forschungsergebnissen werden förderwürdige P+D-Anlagen gesucht. Jährliche Fachtagungen und ein grosser Ausstellungskongress sind vorgesehen. 1997 ist ein »Handbuch Kleinwasserkraftwerke« mit allen Informationen für Bauherren und Betreiber erschienen.



150-kW-WKA Obergrenchenberg (30 m hoch, Rotordurchmesser 24 m, 140.000 kWh/Jahr): Demonstration dieser Leistungsgrösse, Beurteilung der Wirkung auf das Landschaftsbild.



110-kW-Kleinwasserkraftwerk am Gonzenbach im Guggenloch, Toggenburg, 1996 mit Umweltschutzmassnahmen wiederbelebt: Erhaltung der Stauwehr aus dem Jahr 1894 (links oben), Druckleitung unterirdisch, Maschinenhaus (rechts) mit Schallschutzverglasung.

Wind-Lexikon

Moderne **Windkraftanlagen (WKA)** umfassen eine Turbine und einen Stromgenerator.

Die **Windturbine** ist heute (im Unterschied zu früheren breiten Windmühlensystemen) meist ein 2- oder 3-Blatt-Propeller mit horizontaler Achse (mitsamt Generator auf einem Mast oder Turm montiert); bei Rotoren mit vertikal stehenden Blättern und Achsen kann der Generator auch am Boden stehen. Schnellaufende Propeller haben höhere Wirkungsgrade. Bis zu 100 kW Leistung spricht man von Klein-WKA, bis zu 1 MW von mittelgrossen (Turmhöhe und Propellerdurchmesser bis zu 50 m), darüber von Gross-WKA.

In Bodennähe bremsen Vegetation und Bebauung die **Windgeschwindigkeit**, daher setzt man Windturbinen mit Vorteil auf hohe Türme.

Kleinwasserkraft-Lexikon

Als **Kleinwasserkraftwerke** gelten Anlagen unter 10 MW Leistung. Anlagen unter 300 kW werden zu den Kleinstwasserkraftwerken gezählt.

Erprobte Turbinentypen setzen die Wasserkraft um z.B. Durchström-, Pelton-, Francis- und Kaplan-turbinen sowie umgekehrte Pumpen. Dank kostengünstigen **Rohrturbinen** lassen sich auch Niedrigstgefälle mit hohen Wirkungsgraden und daher wirtschaftlich nutzen.

Die in den 1930er-Jahren in der Schweiz erstmals gebaute **Rohrturbine** ist eine Kaplan-turbine mit liegender Achse, was geringe Bauhöhe und damit niedrige, in der Landschaft unauffällige Maschinenhäuschen ermöglicht.

Voraussetzung für die **Wirtschaftlichkeit** von Kleinwasserkraftwerken sind optimale Auslegung, kostengünstige Bauweise und über das Jahr möglichst **gleichmässiges Wasserangebot** sowie **unbemannter, d.h. vollautomatischer Betrieb**.

Teilbereiche

Wind

Kleinwasserkraftwerke

Energiespeicher: Solarchemie, ...

Nach der Ölkrise 1973 wurde im Umfeld der Forschung an Sonnenöfen die Idee geboren, deren konzentrierte Sonnenstrahlung nicht nur zur Stromerzeugung, sondern auch zur **Gewinnung von Wasserstoff und anderen chemischen Energieträgern als Speicher von Sonnenenergie** zu nutzen. Die Schweizer Forschung in dieser **Solarchemie** fand sich zusammen mit den USA, Deutschland und Israel bald in führender Position. Bahnbrechende Schweizer Arbeiten der jüngsten Zeit sind z.B. Wasserstoffgewinnung durch Wasserspaltung in einem **solaren Kreisprozess mit Eisenoxiden**, oder **Zementbrennen** in einem »Pulverwolkenreaktor«.

Im Forschungsprogramm 1996/99 legt das BEW Priorität auf Verfahren, die in der Schweiz innerhalb vernünftiger Zeit und im Bereich der Wirtschaftlichkeit industriell umsetzbar erscheinen:

- **Weiterentwicklung von Solarabsorbern** für 80 bis über 800 °C bzw. für Heisswasser und Nahrungsmitteltrocknung bis hin zu Anwendungen in der Hochtemperatur-Solarchemie.
- In der **Hochtemperatur-Solarchemie** Wasserspaltung mit Metalloxiden, Umsetzung von Metalloxiden mit Erdgas und Wasser zur Gewinnung der Metalle und von Brenngas.
- Nutzung von Wasserstoff nicht nur als Brennstoff (z.B. in Motoren), sondern auch als Chemierohstoff. Fortsetzung der Suche nach besseren Metallhydriden als Wasserstoffspeicher.
- Als Beitrag zur Lösung des CO₂-Problems: **Gewinnung hochwertiger Chemikalien**, z.B. von Methanol und Aminen, **aus CO₂** durch selektive katalytische Reaktionen mit Wasserstoff.
- **Photoelektrische Wasserspaltung** mittels speziellen Halbleitern.

Viele Forschungsergebnisse der Solarchemie lassen sich **erst in fernerer Zukunft umsetzen**.

... Wassertanks und Boden

Ein wichtiges Thema der Energieforschung ist seit den 1970er-Jahren die **Wärmespeicherung**, vor allem **zum Ausgleich der zeitlichen Ungleichmässigkeit der Sonnenenergie**. Eine Vielzahl vom BEW koordinierter Forschungsprojekte hat aufschlussreiche Ergebnisse erbracht – beispielsweise, dass Latentwärmespeicher wegen Giftigkeit und mangelnder Langzeitstabilität der bekannten Speicherstoffe sowie allzu hoher Kosten kaum in Frage kommen, und dass Aquiferspeicher (Warmwasser wird im Sommer in eine Bodenschicht eingepresst und im Winter wieder entnommen) nur in günstigen Fällen machbar sind. **Schweizer Pionierleistungen** sind der Diffusionsspeicher und die Entdeckung, dass sich in Heisswasserbehältern eine Temperaturschichtung einstellt, die sich energiesparend nutzen lässt.

Das Forschungsprogramm 1996/99 zielt auf Wärmespeicher für Warmwasser und Heizung sowohl in bestehenden Gebäuden wie bei Gebäudesanierungen. Seine Schwerpunkte:

- **Bei Heisswasserbehältern für die Tag/Nacht-Speicherung**, den heute weitaus wichtigsten Speichern, lässt sich Beladung mit Sonnenenergie noch verbessern (z.B. durch geschickte Temperaturschichtung) und damit zugleich die Effizienz des Gesamtsystems erhöhen.
- **Diffusionsspeicher** für mittlere Temperaturen zwischen 30 und 80 °C und in mittleren Grössen, d.h. mit je 10 bis 100 Erdwärmesonden (für Mehrfamilienhäuser), sollen in bezug auf Sondentyp, Geometrie, Werkstoffe und Systemauslegung **optimiert** werden.

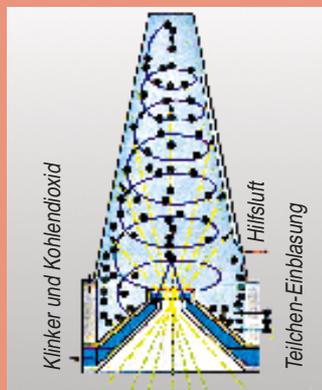
Zur **Umsetzung** der Wärmespeicherungs-Forschung dienen vor allem Messprojekte.



Abwärmespeicherung für Überbauung in Buchrain mit 19 je 200 m tiefen Erdwärmesonden (2 je Schacht, längs 3 wärmegeämmte Sammelleitungen).



Im Brennpunkt des 90-m²-Parabolspiegels am PSI steht ein Zyklon-Solarreaktor, der mit 56 kW konzentrierter Sonnenstrahlung beheizt wird.



Zementgewinnung im Zyklon-Solarreaktor: eingeblasenes Kalksteinpulver reagiert zu Klinker und Kohlendioxid.

Solarchemie-Lexikon

Die **Solarchemie** zielt auf emissionsarme Gewinnung von Rohstoffen und Chemikalien durch Einwirkung konzentrierter Sonnenstrahlung und/ oder solarer Wärme. Diese Nutzung der Sonnenenergie hat ein hohes Potential zur Substitution fossiler Brennstoffe. Man unterscheidet drei Grundverfahren (mit vielen Varianten):

- Der **thermochemische** Weg nutzt Solarwärme als Antrieb chemischer Reaktionen mit sehr hohem Energiebedarf (z.B. Zementbrennen).
- **Photochemisch** wird die Sonnenstrahlung direkt von Reaktanden absorbiert, allenfalls auch von Katalysatoren, die in Kontakt mit den Reaktanden stehen.
- Photoelektrochemisch dient solar (z.B. mit Photovoltaik) erzeugter Strom für elektrochemische Reaktionen (z.B. Wasser-Elektrolyse).

Auch Kombinationen dieser Wege sind denkbar.

Wärmespeicher-Lexikon

Wärmespeicher dienen zum Ausgleich von Wärmeangebot und -nachfrage. Zwei wichtige Begriffe:

- **Fühlbare** bzw. **sensible Wärme** äussert sich in einer Temperaturerhöhung des Speicherstoffs.
- Mit Aufnahme oder Abgabe **latenter Wärme** schmilzt bzw. erstarrt ein Stoff, ohne dass sich währenddessen seine Temperatur ändert.

Praktisch teilt man Wärmespeicher wie folgt ein (Auswahl):

- Heisswasserspeicher sind wärmegeämmte Behälter aus Stahl oder Beton, Volumen bis 100.000 m³, Temperatur bis 95 °C.
- Als Latentwärmespeicher eignen sich Eis sowie gewisse Salze.
- Diffusionsspeicher in Erde oder Fels werden über Erdwärmesonden be- und entladen, die zugeführte Wärme oder Kälte diffundiert im Boden.

Teilbereiche

Solarchemie/
Wasserstoff

Wärmespeicherung

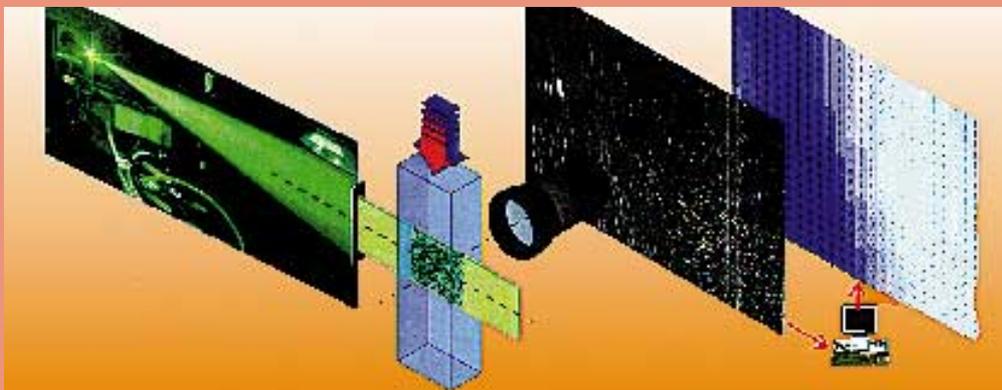
Mit Laser und Computer zu sauberer Verbrennung

Die **Verbrennung von Erdöl und Erdgas** deckt zwar den Grossteil des heutigen Energiebedarfs, ist aber zugleich **auch Hauptquelle der Luftschadstoffe**. Das veranlasste in den 1980er-Jahren die internationale Forschung, sich verstärkt der Verbrennung anzunehmen. Bis dahin war man bei der Konstruktion von Brennern und Motoren im wesentlichen nach der Methode von »Versuch und Irrtum« vorgegangen. Das **BEW startete 1988 das Forschungsprogramm »Feuerung und Verbrennung«**, um auf diesem in der Schweiz noch jungen Gebiet eine **Wissensbasis für die heimische Industrie** zu schaffen. Die Verbrennungsforschung wurde in drei Instituten der ETH Zürich und im Paul-Scherrer-Institut (PSI) konzentriert:

- Einen Schwerpunkt bildeten **laseroptische Verfahren**, die Standard-Diagnostik für Verbrennungsvorgänge. Ihr Prinzip: Ein Laserstrahl leuchtet z.B. in den Verbrennungsraum eines Dieselmotors, das Laserlicht wird an Schadstoffteilchen gestreut, das gestreute Licht gibt – optisch und über Computer ausgewertet – Auskunft über Art, Grösse, Konzentration und Geschwindigkeit der Teilchen. Daraus wiederum lassen sich die Mechanismen der Schadstoffbildung erkennen. **Am PSI und an der ETH Zürich sind hier international anerkannte Entwicklungen gelungen**, z.B. ein Verfahren mit 100 Billiardstelsekunden Zeitauflösung zum Studium raschster Abläufe.
- Zweiter Schwerpunkt war die **numerische Simulation von Verbrennungsvorgängen**, also ihre mathematische Modellierung mittels Computer, ein Verfahren, das die laseroptischen ergänzt. Hier entwickelten die ETH-Forscher u.a. ein Simulationsprogramm, das sich bei der Konstruktion schadstoffarmer Ölheizungs Brenner bereits als **sehr zeitsparend** erwiesen hat.
- Dritter Schwerpunkt: Verbesserung der **Schadstoffanalytik** und Studium der **Schadstoffbildung** in Brennern wie Motoren, z.B. bei Dieseleinspritzung. Eines der wichtigsten Ergebnisse ist **vertieftes Basiswissen über die Reduktion von Stickoxiden bereits in Brenner und Brennkammer**, das in der nächsten Brennergeneration zum Tragen kommen wird.
- Vierter Schwerpunkt: **neue, schadstoffarme Verbrennungstechnologien**, z.B. der katalytischen Verbrennung, und **neue Rückhalteverfahren**, z.B. für Dieselruß in LKW.

Mitte der 1990er-Jahre war angesichts der international forcierten Verbrennungsforschung und ihrer Erfolge klar, dass »**Versuch und Irrtum**« **endgültig ausgedient** haben. Daher soll in der **Forschungsperiode 1996/99** das angesammelte Fachwissen nun gezielt zur **Lösung von Aufgaben der Schweizer Industrie** eingesetzt und diese Industrie mit den neuen Möglichkeiten vertraut gemacht werden. Die genannten Schwerpunkte bleiben bestehen, um die Kontinuität zu wahren und der internationalen Entwicklung – Computer- und Lasertechnik eröffnen laufend neue Wege – folgen zu können. Wichtige Stossrichtung aller Schwerpunkte ist die »**integrierte**« **Schadstoffreduktion**, d.h. Vermeidung schon während der Verbrennung anstatt Rückhaltung mit einer »chemischen Fabrik am Ende des Auspuffs«.

Die Resultate der Verbrennungsforschung an den Hochschulen lassen sich selten direkt in kommerzielle Produkte umsetzen. Nach längerer Zurückhaltung aber **suchen immer mehr Firmen die Zusammenarbeit**, weil sie sich des Hochschulpotentials wie der sehr hohen Kosten allfälliger eigener Forschung bewusst geworden sind. Die dennoch fortbestehenden Hemmschwellen sollen nun gezielt in gemeinsamen P&D-Projekten abgebaut werden.



Prinzip der Laserdiagnostik: Ein Laserstrahl (von links) fällt in die Verbrennungszone (blau). An Brennstoff- oder Schadstoffteilchen wird Laserlicht gestreut. Seitlich gestreute Strahlen fokussiert eine Optik (Mitte) auf

einen bewegten Film, dessen Lichtspuren die Strömung der Teilchen in der Verbrennungszone repräsentieren. Auswertung am Rechner liefert das Geschwindigkeitsfeld (rechts) in der Ebene des Laserstrahls.

Verbrennungs-Lexikon

Unter **Verbrennung** versteht man im allgemeinen die rasche, wärmeabgebende chemische Reaktion eines Brennstoffs mit Luft-Sauerstoff unter Flammenbildung – das meistverwendete Verfahren zur Energieumwandlung, vom Holzfeuer über Motoren bis zu Industriefeuerungen.

Brennstoff-Zusammensetzung und Verbrennungstemperatur entscheiden über die **Entstehung von Schadstoffen**: Kohlenstoff (C) verbrennt mit reinem Sauerstoff (O₂) zu Kohlendioxid (CO₂), dem bedeutendsten Treibhausgas. Reine Kohlenwasserstoffe bilden bei Verbrennung mit reinem Sauerstoff CO₂ und Wasser.

Brennstoffe sind jedoch so gut wie nie rein, technische Verbrennungsabläufe nie ideal. Von Ausnahmen abgesehen, muß man statt reinem Sauerstoff Luft nehmen. Sie enthält neben 21 % O₂ auch 77 % Stickstoff (N₂), der mit dem O₂ bei der Verbrennung (je mehr, je höher die Temperatur) **Stickoxide** bildet (d.s. Treibhausgase und Ozonbildner). Ist die Verbrennung unvollständig, z.B. bei Luftmangel oder zu tiefen Temperaturen, bilden sich neben CO₂ auch giftiges **Kohlenmonoxid (CO)** und **Ruß**.

Es gibt Verfahren, um die **Emissionen** dieser und anderer Schadstoffe zu **verringern** (z.B. Entstickung durch Senkung der Verbrennungstemperatur), gewisse **Schadstoffe umzuwandeln** (mit Katalysatoren) oder sie zu **verbrennen** (z.B. Ruß aus Rußfiltern).

Verbrennungsforschung sucht zu beantworten, wie und wo in Brennräumen von Feuerungen und Motoren Schadstoffe entstehen, um konstruktiv Abhilfe schaffen zu können.

Bei der »kalten« bzw. »**katalytischen**« **Verbrennung** werden über Katalysatoren Brennstoff (z.B. Erdgas) und O₂ bzw. Luft zusammengeführt (ähnlich dem Auto-Katalysator), wobei man durch Dosierung des Brennstoffs die Temperatur bis zu Raumtemperatur herab regeln kann.

Teilbereich
Feuerung
und
Verbrennung

Sicherheitsforschung für die Kernkraftwerke

Mit nahezu 40 % Anteil sind die Kernkraftwerke (KKW) neben den Wasserkraftwerken ein Hauptpfeiler der Schweizer Stromerzeugung. Die Energiepolitik hält deshalb an der Kernenergie fest, auch als **Option für die Zukunft. Dies und die Forderung, die bestehenden KKW sicher zu betreiben, bedingen Sicherheitsforschung.** Dabei unterscheidet man wissenschaftlich-technische und regulatorische Sicherheitsforschung. Da beide einander ergänzen, werden sie von der öffentlichen Hand unterstützt und vom BEW koordiniert. Die beteiligten Forscher müssen ihre Fachkompetenz laufend auf dem Stand von Wissenschaft und Technik halten und sich an internationalen Projekten beteiligen.

Die **technisch-wissenschaftliche Sicherheitsforschung** will neue wissenschaftliche Erkenntnisse hinsichtlich der Reaktorsicherheit gewinnen, den Sicherheitsspielraum bestehender Einrichtungen abschätzen und neuartige Sicherheitsmassnahmen prüfen. In der Schweiz ist sie am PSI konzentriert, wo Forschungsprojekte mittel- und langfristig angelegt sind. Die Anpassung der Schwerpunkte an neue Bedürfnisse und an den technisch-wissenschaftlichen Fortschritt erfolgt daher graduell. In der Forschungsperiode 1996/99 sollen die Arbeiten verstärkt auf die Bedürfnisse der Schweizer KKW und der Sicherheitsbehörden ausgerichtet werden:

- Zur **Störfallanalyse** unterstellt man gewisse Störfälle, modelliert ihren Ablauf und eine Radioaktivitätsfreisetzung mathematisch und überprüft diese Modelle anhand spezieller Experimente. Daraus gewinnt man Erkenntnisse über Verbesserungen der KKW-Sicherheit. Auch die **Alterung** der Anlagen, vor allem durch Korrosion von Komponenten, wird so verfolgt.
- Sicherheitsanalysen zu dem geplanten **Endlager für radioaktive Abfälle** gelten insbesondere der Rückhaltung radioaktiver Stoffe in den Endlager-Barrieren, z.B. in Beton.

Aufgabe der **»Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen«** (HSK) des BEW als Aufsichtsbehörde des Bundes ist es, die Sicherheit der Schweizer Kernanlagen zu beurteilen und allenfalls Massnahmen zur Erhöhung dieser Sicherheit zu verlangen. Dazu betreibt die HSK **regulatorische Sicherheitsforschung**, indem sie Forschungsvorhaben an PSI, Hochschulen und Ingenieurunternehmen im In- im Ausland vergibt. Die Heranbildung eigener Fachkräfte und deren ständige Weiterbildung ist ein weiteres Ziel. Der Forschung der HSK liegt Kontinuität zugrunde, weshalb sich die Schwerpunkte 1996/99 gegenüber der Vorperiode nicht ändern:

- Verbesserung der Störfallanalysen für Schweizer KKW, von Betriebsstörungen bis zum Auslegungstörfall. Vorausschauende Störfallanalysen aufgrund des Erfahrungsschatzes. Festlegung von Schutzmassnahmen für allfällige Störfälle.
- Verfolgen der Alterung von mechanischen und elektrischen Komponenten und Bauwerken mit dem Ziel, die Sicherheit der KKW unabhängig von ihrem Alter zu gewährleisten.
- Entwicklung zuverlässiger Methoden zur Beurteilung der Sicherheit von Endlagern.
- Erweiterung der Kenntnisse im Strahlenschutz in- und ausserhalb von KKW.

Die **Umsetzung** von Ergebnissen der Sicherheitsforschung besteht, neben Erhöhung der Kompetenz von Forschern und HSK sowie Anlagenbetreibern, in Verbesserungen der Sicherheit von Kernanlagen, welche die HSK verlangt oder die von den Betreibern von sich aus vorgenommen werden. Solche »Nachrüstungen« erfolgen laufend.

Reaktorsicherheits-Lexikon

Im Reaktor eines **Kernkraftwerks** (KKW) wird durch kontrollierte Kernspaltung Wärme freigesetzt und zur Dampferzeugung genutzt. Der Dampf treibt einen Turbogenerator zur Stromerzeugung. Im Normalbetrieb geben KKW geringe, von den Sicherheitsbehörden als unschädlich erachtete Mengen radioaktiver Stoffe an die Umwelt ab.

In KKW sind viele Arten von Betriebsstörungen und **Störfällen** möglich. Störfälle sind Abweichungen vom bestimmungsgemässen Betrieb derart, dass schlussendlich Schadstoffe an die Umwelt entweichen und eine Gefahr für Gesundheit und Umwelt bilden könnten.

KKW werden so konstruiert, dass sie den sog. **Auslegungstörfall** (»Grösster anzunehmender Unfall« bzw. GaU) überstehen. Dazu nimmt man an, dass infolge Ausfalls der Reaktorkühlung es zwar zu Zerstörungen innerhalb des Reaktor Gebäudes kommt (z.B. zu einem Schmelzen des Reaktorkerns), aber dennoch eine unzulässige Strahlenexposition der Bevölkerung verhindert wird.

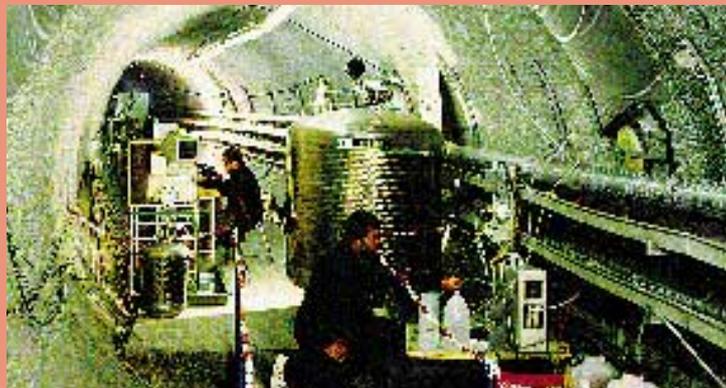
Die dazu getroffenen Massnahmen der **Reaktorsicherheit**:

- Ausnutzen physikalischer Effekte zur sicheren Abschaltung des Reaktors im Störfall.
- Zuverlässige Notkühlung, um Überhitzung bzw. Schmelzen des Reaktorkerns entgegenzuwirken.
- Einschluss der radioaktiven Spaltprodukte durch mehrere hintereinandergeschaltete Barrieren – fester Brennstoff, dichte Brennstabhüllen, Reaktor Druckbehälter aus massivem Spezialstahl, Containment (dichter Stahlblech-Sicherheitsbehälter um den Reaktor), Reaktor Gebäude aus massivem Beton.
- Schutz gegen Einwirkungen von aussen) durch bauliche und organisatorische Vorkehrungen.

Trotzdem bleibt eine, wenn auch sehr geringe Wahrscheinlichkeit für einen schweren, die Auslegungsgrenze überschreitenden Störfall – das »Restrisiko«.



Die thermohydraulische Testanlage PANDA am PSI dient zum Funktionsnachweis passiver Sicherheitssysteme.



Im Felslabor auf dem Grimselpass, das von einem Stollen des Wasserkraftwerks abzweigt, werden experimentelle Untersuchungen im Hinblick auf den Bau eines Endlagers für radioaktive Abfälle vorgenommen – im Vordergrund eine Messanlage zur Ausbreitung (»Migration«) von Radionukliden im Fels.

Teilbereiche

**Kerntechnik
und nukleare
Sicherheit**

**Regulatorische
Sicherheits-
forschung**

Kleine Schritte zum grossen Ziel Kernfusion

Fusionsforschung – der Versuch, die Sonne auf der Erde nachzumachen – wird seit den 1940er-Jahren betrieben. Drei Triebfedern haben sie bis heute in Gang gehalten, nachdem sie sich als weit hürdenreicher erwiesen hatte als gedacht: Meerwasser enthält einen unerschöpflichen Vorrat an dem Fusionsbrennstoff Deuterium; aus 1 g Fusionsbrennstoff kann man so viel Energie gewinnen wie aus 6 t Erdöl; und die Forscher versprechen sichere Fusionsreaktoren, die nicht ausser Kontrolle geraten können und keine hochradioaktiven Abfälle hinterlassen.

Fusionsforschung ist nicht nur schwierig, sondern auch äusserst aufwendig. Daher haben sich europäische Staaten schon in den 1950er-Jahren zu einer **Zusammenarbeit in der EURATOM** (s. S. 21) verständigt, indem sie Kosten und Aufgaben aufteilen. Die Schweiz hat sich in den 1970er-Jahren mit vollen Rechten und Pflichten daran anschliessen können. **Hauptziel für die kommenden Jahre ist ITER**, ein erster wirklicher, d.h. mehr Energie freisetzender als verbrauchender Experimentalreaktor nach dem Prinzip des Magneteinschlusses. Über genaue Auslegung und Standort soll 1998 entschieden werden. Neben der EURATOM beteiligen sich an ITER noch Japan, Russland und die USA.

Die **Aufgaben der Schweiz innerhalb des EURATOM-Programms** werden vom CRPP, dem Zentrum für Plasmaphysik-Forschung an der ETH Lausanne, gesteuert. Das CRPP führt auch die meisten Forschungsarbeiten aus, eine Zweiggruppe wirkt am PSI.

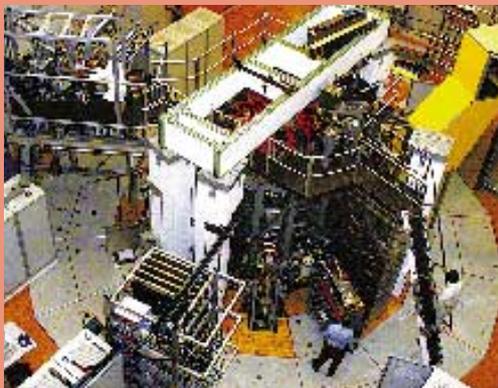
□ **Physikalische Fragen des Magneteinschlusses** werden experimentell wie theoretisch zu beantworten versucht. Am Tokamak TCA fand man in den 1980er-Jahren heraus, dass Plasmen mit Querschnitten in Form eines D, O oder S höhere Plasmadichte ergeben als kreisförmige (und hohe Dichte ist neben Temperaturen über 100 Mio. K eines der wichtigsten »Zündkriterien«). Daher werden nun solche Querschnitte am Tokamak **TCV, Tokamak mit variabler Konfiguration**, studiert. Er erlaubt weite Veränderungen von Höhe und Breite des Torus. Weitere Experimente am TCV gelten der **Plasmaheizung durch Einkopplung hochfrequenter Radiowellen**. Und die theoretischen Arbeiten, unterstützt von höchst rechenaufwendigen numerischen Simulationen, suchen die Experimente zu modellieren.

□ Ein Kernstück künftiger Fusionsreaktoren ist die **»Erste Wand«**, die den Plasmaraum nach aussen abschliesst. Sie wird von den die Fusionsenergie übertragenden, fast lichtschnellen Neutronen durchdrungen, dabei radioaktiv »aktiviert« und versprödet. Zähe und wenig aktivierbare Konstruktionsmaterialien, vor allem **spezielle Stähle, sowie ITER-Bauteile und Beschichtungen** (zur Reduktion losgeschlagener, das Plasma verunreinigende Atome) werden an einem Protonenbeschleuniger geprüft.

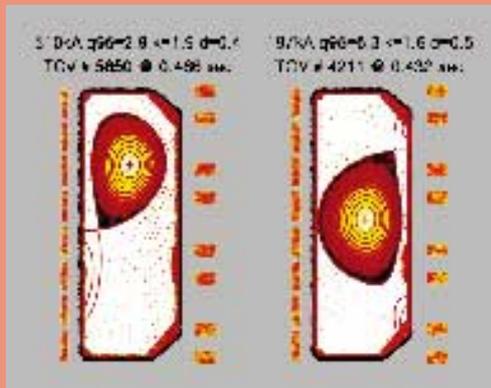
□ Schweizer Aufgaben sind auch **Entwicklung und Tests grosser supraleitender Magnetspulen** für die starken Magnetfelder des ITER.

Sollte ITER erfolgreich sein, d.h. eine positive Energiebilanz erreichen, könnte nach dem heutigen Stand des Wissens ein Fusionskraftwerk kaum vor Mitte des 21. Jh. gebaut werden.

Die Erfahrungen des CRPP werden, in Zusammenarbeit mit Schweizer Industriefirmen, bereits heute in höchst **widerstandsfähige Plasmabeschichtungen von Werkzeugen**, z.B. mit Diamantschichten durch Abscheidung aus einem Kohlenstoffplasma, **umgesetzt**.



Der TCV (Tokamak mit variabler Konfiguration) am CRPP in Lausanne. Auf der Brücke links oben werden gerade die Wellenleiter für die Extremhochfrequenz von 82,4 Gigahertz installiert, die als Plasma-Zusatzheizung dient.



Die Forschung am TCV konzentriert sich auf die Herstellung interessanter Plasmaformen. Hier zwei aus den Messungen errechnete Formen im Querschnitt des TCV-Ringraums.

Kernfusions-Lexikon

Kernfusion ist der Grundprozess der Energieerzeugung in Sternen: Atomkerne der leichtesten Elemente (normaler, Schwerer und Überschwerner Wasserstoff sowie Helium) »verschmelzen«, wobei Energie frei wird. Z.B. verbinden sich je ein Kern von Schwermem und Überschwermem Wasserstoff (Deuterium bzw. Tritium) zu einem Heliumkern, es bleibt ein Neutron hoher Bewegungsenergie.

Triebfeder der Bemühungen, Fusionsreaktionen auf der Erde ablaufen zu lassen: 1 g Fusionsstoff enthält so viel Energie wie 6 t Erdöl. Es kommt darauf an, die (positiv geladenen) Atomkerne gegen ihre elektrische Abstossung einander so nahezubringen, dass die Massenanziehung wirksam wird. Das ist nur möglich, wenn die Atomkerne sehr hohe Bewegungsenergie bzw. Temperaturen von Mio. Kelvin (K) haben. In der Sonne herrschen 15 Mio. K. Zugleich beträgt die Dichte infolge der 300.000fachen Erd-Masse 150 g/cm³. Da sich auf der Erde diese Dichte nicht erzielen lässt (Blei: 11,3 g/cm³), muss die Temperatur wenigstens 100 Mio. K erreichen.

Die **Fusionsforschung** konzentriert sich auf den Magneteinschluss. Materie ist schon bei wenigen tausend K vollständig ionisiert, d.h. in elektrisch positive Atomkerne und negative Elektronen getrennt. Ein solches **Plasma** lässt sich mit Magnetfeldern einschliessen, in der Tokamak genannten Plasmamaschine so: Ein Ringrohr (Torus) wird evakuiert und mit ionisiertem Fusionsstoff gefüllt. Der Torus bildet die eine Wicklung eines Transformators. Schaltet man diesen ein, wird der Fusionsstoff zu einem Ringstrom, und das Magnetfeld zwingt ihn, in der Mitte des Torus zu fließen. Infolge der Zusammenstöße unter seinen Teilchen heizt sich das Plasma auf einige Mio. K auf. Weitere Temperaturerhöhungen erzielt man durch Einschliessen hochenergetischer Ionenstrahlen oder durch Einkoppeln elektromagnetischer Wellen.

Teilbereich
Kernfusion

Batterien für Heim, Auto und Industrie

Batterien sind die wichtigsten Stromspeicher. Akkumulatoren dienen als Starterbatterie im Auto oder als Notstromversorgung in Spitälern. **In der Schweiz zählt man schätzungsweise 3 Mio. Blei-Akkus, und jährlich werden für elektrische und elektronische Kleingeräte über 50 Mio. Haushaltsbatterien und Klein-Akkus verkauft.**

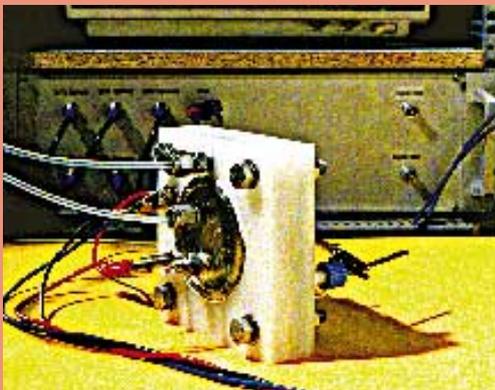
Batterien **können wegen ihres Schadstoffgehalts** (z.B. Kadmium in manchen Typen) **und ihrer Menge ein Entsorgungsproblem sein.** Alte Blei-Akkus werden fast zu 100 % recycelt. Für die Entsorgung der übrigen Batterien gibt es Verfahren, doch harzt die Sammlung. Schadstoffe werden zunehmend durch besser umweltverträgliche Materialien ersetzt.

Nicht wiederaufladbare Batterien sind auch **Energieverschwender**, denn ihre Herstellung benötigt 50mal so viel Energie, wie ihnen entnommen werden kann. Und **heutige Akkumulatoren sind zu schwer für das Elektroauto.** Auch die **Nutzung erneuerbarer Energie** mit Solarzellen **verlangt nach besseren Stromspeichern.**

Mithin besteht **Forschungsbedarf für alte wie für neue Batterien**, auch in bezug auf ihre Umweltverträglichkeit. Da die Konkurrenzfähigkeit der leistungsfähigen Schweizer Batterie-Industrie gewahrt bleiben soll, fördert das BEW seit 1988 auch die Batterie-Forschung. Die Forschungsperiode 1996/99 setzt die Periode 1988/95 nahtlos fort, die **bereits bedeutende Fortschritte** hin zu neuen Produkten brachte. **Im Brennpunkt stehen vier Batterie-Typen:**

- Die **Weiterentwicklung des Blei-Akkus**, des heute weitaus wirtschaftlichsten Akkumulators, gilt vor allem der **Anwendung im Diesel/Elektro-Hybridauto.** Dieses verfügt sowohl über einen Diesel- wie einen Elektroantrieb. Reduktion der Elektrodenmasse (heute im Auto-Akku etwa 11 kg) sowie intelligente, den Ladestrom automatisch dem Ladezustand anpassende Ladegeräte sind die vorrangigen Ziele (womit sich die Schweiz angesichts der weltweiten Konkurrenz auf die Schlüsselkomponenten konzentriert).
- Der **Zink/Luft-Akku** berechtigt zu einer 100%igen Inlandentwicklung. **Im Voll-Elektrofahrzeug** hat er gegenüber dem Blei-Akku den Vorteil der höheren Leistungsdichte. Benetzung und Stabilität der Luft-Elektrode sowie Verkohlung des Elektrolyten sind die noch zu überwindenden Hürden. 1999 soll ein Funktionsmodell für Elektroautos einsatzbereit sein.
- Der **Nickel/Metallhydrid-Akku** soll den Nickel/Kadmium-Akku ersetzen, weil Kadmium ein Umweltgift ist. Bessere Legierungen für die Metallhydrid-Elektroden sind gesucht. Eine 100%-Aufgabe für die Schweiz.
- Vom **Lithium-Ionen-Akku** wird mit 340 Ah/kg die **höchste Leistungsdichte erwartet** (heutige Blei-Akkus: etwa 20 Ah/kg). Elektroden sind das hochreaktive Leichtmetall Lithium und gewisse Metalloxide oder auch Polymere. Da der Akku in Japan schon in Millionen-Serien für tragbare Elektronik gefertigt wird, liegt die Chance der Schweizer Forschung in speziellen Einsätzen für die Lithium-Elektrode, eine Schlüsselkomponente, sowie in Sicherheitsaspekten des Systems.

Die **Umsetzung** verspricht am ehesten bei Konzentration auf die erfolgversprechenden Typen und Komponenten zu gelingen – daher werden in ständigem Kontakt von Industrie und BEW die Forschungsprioritäten ermittelt. Als P&D-Projekt hat ein Nickel/Metallhydrid-Akku mit 12 Volt und 9 Ampèrestunden bereits mehr als 600 Ladezyklen erreicht.



Eine wiederaufladbare Zink/Luft-Zelle im Test, wie sie am Paul-Scherrer-Institut für einen künftigen Akkumulator entwickelt wird. Die Nennkapazität der Zelle beträgt 2,4 Ampèrestunden, die Ruhespannung etwa 1,4 Volt.



Bestandteile der Zink/Luft-Zelle: In der Hand die mit porösem Separatormaterial umwickelte Zinkelektrode, dunkel im Gehäuse die bifunktionalen Luftelektroden, der dünne Ring ist die Dichtung.

Batterien-Lexikon

In **elektrochemischen Elementen** wird bei chemischen Reaktionen an zwei unterschiedlichen Elektroden Energie freigesetzt und in elektrischen Strom (sowie Wärme) umgewandelt. Als Elektroden dienen ein Sauerstoffgeber (z.B. Luft, Oxide) und ein Brennstoff (z.B. Blei, Wasserstoff, Zink). Sie werden durch einen Elektrolyten (z.B. Säure, spezielle Polymere und Keramiken) getrennt. Der Elektrolyt leitet Ionen als Träger elektrischer Ladungen von einer Elektrode zur andern, d.h. es fließt ein elektrischer Strom.

In **Primärelementen** stoppen die Reaktionen, sowie die Elektroden verbraucht sind. Die Vorgänge sind nicht umkehrbar, die Elemente nicht wieder aufladbar. In **Sekundärelementen** macht Laden aus einer äusseren Stromquelle die Entladereaktionen rückgängig, man nennt sie daher Sammler oder **Akkumulatoren.**

Es gibt viele Elektroden/Elektrolyt-Kombinationen. Die Spannung beträgt meist 1 bis 2 Volt. Für höhere Spannungen verbindet man mehrere Elemente bzw. Zellen zu **Batterien.**

Praktische Bedeutung haben nur Batterien, die sich nicht zu rasch von selbst entladen und deren Materialien billig sind. Wichtigste Primärelemente sind die **Kohle/Zink-** und die **Alkali/ Mangan-Batterie**, beide sind als **Haushaltsbatterien** z.B. für Taschenlampen und elektronische Geräte weit verbreitet. **Lithium-Zellen** ersetzen zunehmend **Quecksilberbatterien** in Hörgeräten, Uhren und Kameras.

Wichtigster **Akkumulator** ist der 1859 erfundene Blei-Akku (mit Blei und Bleioxid als Elektroden, Schwefelsäure als Elektrolyt). Bedeutung hat neuerdings auch der **Nickel/Kadmium-Akku**, für Kameras und Elektrowerkzeuge. Neue Akkus mit potentiell höherer Speicherkapazität werden im Hinblick auf Elektrofahrzeuge erprobt. Angestrebt werden möglichst hohe Energiedichte (Wh/kg) und Leistungsdichte (W je Liter Akku-Volumen).

Bereich
**Akkumulatoren/
Brennstoffzellen**

Brennstoffzellen für Heizung, Strom und Autos

Die »Brennstoffzelle« taucht immer häufiger in den Medien auf. Mit Superlativen wird dabei nicht gegeizt. Man speise die Zelle mit Luft und Brennstoff, und erhalte – bei 80 % Brennstoffausnutzung – Strom sowie Wärme. Das Wunder eigne sich vor allem als Blockheizkraftwerk (BHKW) z.B. für Wohnüberbauungen, wo sie Aggregate mit Gas- oder Dieselmotoren ersetzen könne.

Bisher gibt es allerdings **erst Versuchsanlagen**. Dabei beobachtete der Engländer Grove schon 1839, dass die Sache im Prinzip geht. Aber erst nach 1945 entstanden in den USA funktionierende Brennstoffzellen für U-Boote und Raumfahrt. Doch die Kosten waren astronomisch, und die **technischen Probleme** blieben bestehen – vor allem Korrosion, Stromabgriffe, kontinuierliche Zuleitung von Brennstoff und Sauerstoff und die Ableitung der Reaktionsprodukte.

Diesen Problemen stehen **die prinzipiellen, überzeugenden Vorteile** gegenüber, wie **hohe Brennstoffausnutzung, Lautlosigkeit und Vibrationsfreiheit**. Vor allem die **Möglichkeit, Erdgas als Brennstoff zu verwenden**, veranlaßte das BEW 1988, die Förderung der Brennstoffzellen-Forschung in sein Programm aufzunehmen. Denn dem Erdgas, das bereits heute zwei Drittel der Schweizer Bevölkerung erreicht, wird eine tragende Rolle in der künftigen Energieversorgung zugeschrieben. Zudem bietet die Schweizer Industrie gute Voraussetzungen für die Herstellung von Brennstoffzellen sowohl für den Heimmarkt wie für den Export.

Das Programm 1988 bis 1995 hat gute Ergebnisse, aber noch keine auch nur entfernt marktnahen Produkte erbracht (der einzige weltweit erhältliche ist der Phosphorsäure-Typ). **Die Materialprobleme lassen sich eben nicht über Nacht lösen**. Deshalb setzt das Programm 1996/99 die begonnenen Arbeiten konsequent fort. **Ziele** sind der **Erwerb von Know-how** für eine mögliche Schweizer Produktion sowie eine **dramatische Senkung der Kosten**. Der **Stand der Forschung und ihre Hauptstossrichtungen** – mit Erdgas betriebene, für absehbare Anwendungen in der Schweiz aussichtsreichste Typen – lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die **keramische Brennstoffzelle** ist vor allem für Blockheizkraftwerke vorgesehen. Die Entwicklung konzentriert sich auf das Projekt HEXIS von Sulzer Innotec und ist so weit fortgeschritten, dass für das Jahr 1999 ein Modul von 1 kW elektrischer Leistung anvisiert wird. Fernziel ist ein praxiserreichter BHKW-Modul von 15 kW. Kostenreduktion wird angestrebt durch Begrenzung der Betriebstemperatur auf 820 °C (was die Verwendung preiswerter Metall-Legierungen ermöglicht), Erhöhung der elektrochemischen Leistung sowie Reduktion der Stromverluste (wozu die Porosität der Erdgas-Elektrode verbessert werden muss).
- Anwendungsfeld der **Polymer-Brennstoffzelle** soll das **Elektrofahrzeug** sein. Auch wenn in mehreren Ländern versuchsweise bereits Busse mit solchen Zellen betrieben werden, bleiben spezifische Probleme bestehen, insbesondere das der Reformierung des Brennstoffs, d.h. der Abtrennung des für den Betrieb erforderlichen Wasserstoffs. Der Weg dazu führt u.a. über verbesserte Polymer-Membranen.

Zur **Umsetzung** sind vor allem **P&D-Projekte** vorgesehen: Z.B. testet die ATEL seit 1992 in Niedergösgen eine kanadische Polymer-Brennstoffzelle, in Genf sammeln die Industriellen Betriebe seit 1993 mit einer Phosphorsäure-Zelle aus USA Betriebserfahrungen. Eine zu 100% schweizerische HEXIS-Zelle soll so bald wie möglich in der Praxis geprüft werden.

Brennstoffzellen-Lexikon

Brennstoffzellen sind elektrochemische Stromgeneratoren. Von Batterien unterscheiden sie sich durch die kontinuierliche Zufuhr chemischer Energie in Form eines Brennstoffs. Zwei flächige Elektroden sind durch einen Elektrolyten getrennt, einen Stoff, der nur Ionen (elektrisch geladene Atome) einer bestimmten Art leitet. Je nach Elektrolyt und Brennstoff unterscheidet man mehrere Typen.

Elektrolyt in der **keramischen Brennstoffzelle** ist eine Keramik aus Zirkonoxid, die nur Sauerstoff-Ionen durchläßt. Zur einen Elektrode, der Kathode, strömt Luft. Bei der hohen Betriebstemperatur – bis zu 900 °C – und infolge Katalysatorwirkung von Elektrolyt und Elektrode werden die Atome des Luftsauerstoffs ionisiert, d.h. sie nehmen je zwei Elektronen auf. Diese Ionen wandern durch den Elektrolyt zur anderen Elektrode, der Anode. Sie geben die beiden Elektronen an die Anode ab und reagieren chemisch mit Brennstoff-Atomen. An der Anode besteht nun Elektronenüberschuss, an der Kathode Elektronenmangel, dazwischen also eine elektrische Spannung von ungefähr 1 Volt. Brennstoff ist z.B. Erdgas.

Phosphorsäure- und Festpolymer-Brennstoffzellen haben als Elektrolyt Phosphorsäure bzw. einen Kunststoff. Weitere Typen sind **alkalische und Salzsäure-Zellen**.

Heutige Zellen sind etwa 1 cm dicke und bis zu 1 m² grosse Platten, die elektrische Leistung beträgt etwa 0,3 W/cm². Für den Einsatz werden viele Platten zu einem Modul bzw. »stack« aufeinander gestapelt. Alle Varianten erreichen heute ca. **50 % Wirkungsgrad der Stromerzeugung**. Theoretisch sind 70 % möglich, bei Nutzung auch der Wärme resultieren Gesamtnutzungsgrade bis 90 %.

Denkbare Anwendungen sind **kleinere Kraftwerke, Blockheizkraftwerke und Elektrofahrzeuge**.



Mehrere HEXIS-Membranen von je 12 cm Durchmesser werden hier durch Plasmasprühen im Vakuum gleichzeitig hergestellt.



Bestandteile einer HEXIS-Zelle: keramische Membran (grün) mit Elektroden, Kanal-Platte für Brennstoffzufuhr und Verbrennungsprodukt-Ableitung.



Ein 7-kW-HEXIS-System: im Gehäuse links Zellenstapel und alle Nebengeräte, rechts die elektronische Steuerung.

Bereich
**Akkumulatoren/
Brennstoffzellen**

Treibstoffsparen im Strassenverkehr

Verkehr und Transport beanspruchen rund **ein Drittel des Schweizer Endenergiebedarfs**. An diesem Drittel hat der motorisierte Individualverkehr – mit dem Stand von 1994 – etwa 56 %, der Gütertransport 17 % und der Flugverkehr 22 % Anteil. Damit war der Verkehr die grösste Verbrauchergruppe (vor den Haushalten mit 29 %, dem Gewerbe und der Landwirtschaft mit 20 % und der Industrie mit 19 %).

Der motorisierte Individualverkehr verursacht überproportional viele Luftschadstoffe. Zum ersten sind die Fahrzeuge noch kaum auf minimalen Energiebedarf hin konstruiert. Zum zweiten werden die emissionsmindernden Katalysatoren erst nach etwa 5 km voll wirksam, während 75 % aller Fahrten kürzer als 10 km sind. Drittens wird die dank Fortschritten im Motorenbau erzielte Verbrauchsminderung durch das Kaufverhalten – immer schwerere und stärkere Fahrzeuge – weitgehend aufgehoben. Und schliesslich nimmt die Mobilität und damit der Treibstoffbedarf weiter zu.

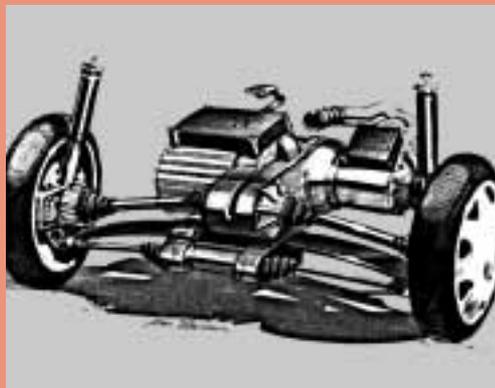
Insgesamt ist im Verkehr und **insbesondere im Strassenverkehr ein riesiges Einsparpotential** vorhanden. Es soll durch das BEW-Programm »Rationelle Energienutzung im Verkehr« erschlossen werden. Zwar hat die Schweiz keine Automobilindustrie, sie kann aber als wichtiger Testmarkt, aufgrund ihrer fortschrittlichen Gesetzgebung und dank der starken Zulieferindustrie doch **Einfluss auf Modellentwicklung und -politik der Hersteller** nehmen.

Hauptstossrichtung ist die **Erforschung und Entwicklung hocheffizienter Antriebssysteme und Fahrzeuge für den motorisierten Individualverkehr**, das Gebiet mit den grössten Einsparmöglichkeiten. Als mittelfristiges Ziel sollen die Ergebnisse in ein alltagstaugliches Familienauto mit weniger als 3l/100 km Treibstoffverbrauch umgesetzt werden. Dazu verfolgt man **verschiedene Lösungsansätze**:

- **Neuartige Antriebssysteme** – z.B. modernste Otto-, Diesel- oder Elektromotoren, Hybridantriebe sowie Brennstoffzellen – sollen Energieverbrauch und Emissionen reduzieren.
- Mit neuen Werkstoffen und Konstruktionen soll die **Fahrzeugmasse noch wesentlich vermindert** werden (Reduktion um 10 kg senkt den Energieverbrauch heutiger Fahrzeuge um etwa 1 %, was landesweit rund 40 Mio. l Treibstoff im Jahr entspräche).
- Die in herkömmlichen Bremsen in ungenutzte Wärme verwandelte **Bewegungsenergie** kann man statt dessen mit Hochleistungskondensatoren, Batterien und anderen Technologien **speichern** und bei Bedarf, z.B. beim Beschleunigen, wieder nutzen.
- **Erhöhung der passiven Sicherheit von Leichtfahrzeugen** zum Abbau bestehender Vorurteile.

Zweiter Schwerpunkt des Förderprogramms ist der **Gütertransport auf der Strasse**. Über dessen Umfang und Gesetzmässigkeiten ist noch wenig bekannt. Darum sollen **statistische Grundlagen für den nationalen wie den internationalen Güterverkehr in der Schweiz** erarbeitet werden (wer transportiert wann, woher und wohin?), ebenso Entscheidungshilfen für die Einführung eines **kombinierten Güterverkehrs** auf Strasse und Schiene, der die Vorteile beider Systeme besser vereint als heute. Weitere Ziele sind modulare Transportverpackungen und EDV-gestützte Güterumschlagssysteme.

Im **Flottengrossversuch** mit Elektroleichtmobilen in Mendrisio, dem Schwerpunkt des P&D-Programms Leichtmobile, werden der sinnvolle Einsatz im Alltag demonstriert sowie das Mobilitäts- und das Käuferverhalten untersucht. Die **Umsetzung** der Erkenntnisse soll der Verbreitung hocheffizienter Fahrzeuge in der ganzen Schweiz dienen (heute ca. 2500 solcher Fahrzeuge).



In praxisnahen Crashtests, z.B. von Universität und ETH Zürich, werden neukonstruierte Leichtbaufahrzeuge auf ihre Unfallsicherheit geprüft. Die gewonnenen Erkenntnisse fliessen umgehend in Verbesserungen ein.

Äusserst sparsamer und emissionsarmer Parallel-Hybrid-Antrieb einer Zürcher Firma mit Verbrennungsmotor und parallelem Elektromotor – hier ein Entwurf für die mögliche Serien-Gestaltung.

Verkehrs-Lexikon

Verkehr (und Transport) umfasst Eisenbahn, Flug-, Schiffs- und Strassenverkehr. Der Strassenverkehr wiederum wird unterteilt in **motorisierten Individualverkehr** (mit PW, Cars, Motorrädern und Motorfahrrädern) und **Gütertransport** (im wesentlichen mit LKW).

Herkömmliche Motorfahrzeuge sind nicht sehr energieeffizient. Ihre Benzin- und Diesel-Verbrennungsmotoren haben verhältnismässig geringe Wirkungsgrade, der Antriebsstrang ist kaum optimiert, und das Fahrzeuggewicht ist im allgemeinen gross.

Leichtfahrzeuge bzw. Leichtmobile unterscheiden sich von herkömmlichen PW durch geringeres Leergewicht und höhere Energieeffizienz.

Elektrofahrzeuge haben anstelle des üblichen Verbrennungsmotors (Benzin-, Diesel- oder Gasmotor) einen Elektromotor, der aus Akkumulatoren (»Batterien«) mit Strom versorgt wird, künftig vielleicht auch aus einem von einem Verbrennungsmotor angetriebenen Bordgenerator oder von einer Brennstoffzelle. Heute verfügbare Akkumulatoren sind im Verhältnis zu ihrer Stromspeicherkapazität sehr schwer und können daher Platzangebot, zulässiges Gesamtgewicht sowie Fahrleistungen und Reichweite stark einschränken.

Elektroleichtmobile sind hocheffiziente Leichtfahrzeuge, die mit relativ wenigen Akkumulatoren auskommen.

Hybridfahrzeuge (vom lateinischen hybrida, Mischling) haben zwei oder mehr unterschiedliche Motoren, z.B. einen Elektromotor für Stadt- und einen Verbrennungsmotor für Überlandverkehr. Auch Batterien, Hochleistungskondensatoren oder Druckspeicher als Energiespeicher für Beschleunigungen und Bergfahrten sind denkbar.

Bereich
Verkehr

Seite 19

Wie hängen Gesellschaft, Politik, Umwelt und Energie zusammen?

Die Energieversorgung wurde lange Zeit den Marktkräften überlassen und von diesen vor allem als technisch-betriebswirtschaftliche Aufgabe betrachtet, gewinnbringende Energieanlagen zu erstellen. Erst die Ölkrise des Jahres 1973 rückte nationale Versorgungssicherheit und volkswirtschaftliche Kosten in den Blickpunkt und veranlasste damit die Formulierung einer eigentlichen Energiepolitik. Zu deren Hauptthemen gesellten sich sehr bald auch der Umweltschutz und die Nutzung erneuerbarer Energien. Damit waren **zu rein wirtschaftlichen Aspekten der Energieversorgung auch gesellschaftliche, politische und ökologische** getreten. Zugleich begann sich ein neuer Zweig der Wirtschaftswissenschaft zu bilden, der sich mit diesen erweiterten »energiewirtschaftlichen Grundlagen« befasst, die **Energieökonomik**. Sie stellt neben betriebswirtschaftlichen Fragen auch – und vor allem – solche nach

- der **gesellschaftlichen Akzeptanz** (als Ausdruck von Wertvorstellungen und Verhaltensmustern der Gesellschaft) z.B. von Kernkraftwerken,
- der **Wirkung politischer Massnahmen** (z.B. Energieabgaben) und der **energiepolitischen Planung** für lange Zeiträume (z.B. für den Ersatz der Kernkraftwerke ab dem Jahr 2005),
- **Risiken und Kosten der Umweltbelastung** durch Gewinnung und Nutzung von Energie.

Zusätzliche Aktualität verlieh dem neuen Gebiet in allerjüngster Zeit die **Internationalisierung der Energiemärkte**, sei es im Rahmen der EU, sei es im Gefolge der Globalisierung der Wirtschaft. Wie sollen sich Energiewirtschaft und Energiepolitik darauf einstellen?

Antworten auf solche Fragen zu geben und damit der Energiewirtschaft wie der Energiepolitik **Entscheidungsgrundlagen zu liefern**, ist Aufgabe der energieökonomischen Forschung. Sie wird vom BEW koordiniert. Ihre Schwerpunkte in der Forschungsperiode 1996/99:

- **Beschaffung von Daten**, z.B. zur **Verbesserung der statistischen Angaben** im Industrie- und Dienstleistungsbereich.
- Analysen von Energienachfrage und Energieangebot, wofür die bestehenden Methoden und Modelle weiterentwickelt werden müssen.
- Aufgrund von **Modellen**, die z.B. Gesetzmässigkeiten der Energiebedarfszunahme beschreiben, werden **Perspektiven** des künftigen Energiebedarfs erstellt. Dabei interessiert, welche Wirkung **energiepolitische Massnahmen** auf Bedarfsentwicklung und Wirtschaft haben.
- Analysen der Wirkung von Massnahmen (wie freiwilligen Massnahmen, Tarifen, Geboten und Verboten) im Sinne einer Erfolgskontrolle leisten Beiträge zu einer effizienten Energiepolitik.
- In bezug auf **Kosten und Wirtschaftlichkeit von Energiesystemen** ist die Ausarbeitung von **Internalisierungs-Strategien** ein Hauptanliegen. Schwierig dabei ist die Monetarisierung z.B. von Schäden, die der verstärkte Treibhauseffekt in der Schweiz verursachen könnte.
- In der Energieökonomik hängt fast alles mit allem zusammen. Unter solchen **Interdependenzen** steht die zukünftige internationale Einbettung der nationalen Energieversorgung im Vordergrund.

Neben Fachberichten und Fachtagungen ist eine **wichtige Umsetzung** von Forschungsergebnissen der Energieökonomik darin zu sehen, dass sie vielfach die **Grundlage zur Beantwortung parlamentarischer Vorstösse** abgeben.

Projekt-Beispiel: Wirkung von Elektrizitätstarifen

Ein Projekt im Teilbereich »Erfolgskontrolle« untersuchte 1994/95 die **»Auswirkungen einer grenzkostenorientierten Tarifrevision auf die Elektrizitätsnachfrage«** (Grenzkosten sind jene, die zur Produktion von zusätzlichem Strom über die gegenwärtig verfügbare Kraftwerkkapazität hinaus aufgewendet werden müssen, d.h. für den Bau neuer Kraftwerke).

Die Forscher schätzten aufgrund der einschlägigen Erfahrungen die Preiselastizität ab, d.h. jene Strompreiserhöhungen, bei welchen die Stromkonsumenten ihren Stromverbrauch bewusst einzuschränken beginnen, um Geld zu sparen. Ferner wurde der Einfluss verschiedener anderer Grössen auf die Elektrizitätsnachfrage bestimmt. Schliesslich kamen die Forscher zu folgenden Schlüssen:

- Strompreiserhöhungen sowohl im Hoch- wie im Niedertarif regen die Stromkunden grundsätzlich zum Sparen an. Die Preispolitik ist also ein effektives Instrument zur Elektrizitätseinsparung.
- Günstige Strompreise in den Nachtstunden veranlassen Stromkunden zur Verlagerung des Stromkonsums von Tag- zu Nachtstunden, z.B. zum Betrieb von Warmwasserboilern nur mit Nachtstrom. Dadurch werden die Kraftwerke auch nachts voll ausgelastet, was insgesamt niedrigere Betriebs- und damit auch günstigere Stromkosten zur Folge hat.
- Die stetig wachsende Nachfrage nach Hochtarifstrom und der dadurch nötige Bau neuer Kraftwerke können mit höheren Preisen für solchen Strom gebremst werden.

Das obenstehende Projekt-Beispiel ist der »Erfolgskontrolle« zugeordnet, weil hier im wesentlichen der Erfolg bestimmter Massnahmen überprüft werden sollte, nämlich von Preiserhöhungen im Rahmen einer Tarifrevision. Die For-

scher bewegten sich dabei auch in anderen Fachgebieten. So benutzten sie »Daten« über Erfahrungen mit Tarifänderungen und »Modelle« für Einflüsse auf die Elektrizitätsnachfrage.

Energiewirtschafts-Lexikon

Energiewirtschaft ist der Wirtschaftszweig, der die Deckung des Energiebedarfs zu erträglichen Preisen durch Gewinnung, Umwandlung und Verteilung von Energie besorgt. Zuzugabe der Dringlichkeit der Energieversorgung für das öffentliche und private Leben hat die Energiewirtschaft eine Schlüsselrolle. Darum, und weil die Standortgebundenheit vieler Energieanlagen, z.B. von Kraftwerken, **Monopole** begünstigt, nimmt international der Staat über die **Energiepolitik** starken Einfluss auf die Energiewirtschaft.

Unter **Wirtschaftlichkeit** versteht man Wahl und Auslegung von Energieanlagen so, dass sie marktübliche Erträge abwerfen. Diese marktwirtschaftliche Definition bezieht sich auf **»interne« Kosten**, die einem Unternehmen aus den Betriebskosten erwachsen und aus denen es den Marktpreis der Energie errechnet. **»Externe« Kosten**, d.h. vom Unternehmen nicht oder nur teilweise zu tragende Folgekosten von Energiegewinnung oder -anwendung für Gesundheit und Umwelt (z.B. infolge Luftverschmutzung durch den Strassenverkehr) gehen in diese Berechnung nicht ein. Sie werden von Dritten oder von der Allgemeinheit getragen.

Für Umweltschutz und Gleichbehandlung aller Energieträger sollten externe Kosten in interne übergeführt bzw. **»internalisiert«** werden. Möglichkeiten dazu sind umweltrechtliche Auflagen zur Vermeidung von Folgeschäden (z.B. Katalysatorpflicht für Autos) sowie Abgaben als Ausgleich für Umweltbelastungen (z.B. Treibstoffzollzuschlag). Die Zuordnung von Ursache und Schaden ist jedoch oft nicht eindeutig, auch lassen sich externe Kosten nicht ohne weiteres genau bestimmen bzw. **»monetarisieren«**. Für Chancengleichheit unter den einzelnen Staaten sollte die Internalisierung international abgestimmt und auf möglichst viele Güter und Dienstleistungen angewendet werden.

Bereich

Energiewirtschaftliche Grundlagen

Zusammenarbeit über die Grenzen – ein Gebot und längst Praxis

Die Schweiz kann ebensowenig isoliert Energiepolitik und Energieforschung betreiben wie sie im Alleingang ihre Wirtschaft zu entwickeln und in Gang zu halten oder ihre Umwelt hinreichend zu schützen vermag. Internationale Zusammenarbeit ist deshalb Pflicht.

Grenzüberschreitende Zusammenarbeit kann allen Mitwirkenden Gewinn bringen, wenn sie wirklich partnerschaftlich ist. In diesem Fall erzeugt sie Synergien, hilft Doppelspurigkeiten zu vermeiden und die Forschungseffizienz zu steigern, und sie kann auch die jeweilige Industrie stärken. Schliesslich fördert internationale Zusammenarbeit die Harmonisierung von Regelwerken und Gesetzen.

Aber **nicht in allen Fällen ist eine internationale Zusammenarbeit angebracht oder von Nutzen**. Ganz generell sind Forschungsprojekte, bei denen kurzfristig mit patentierbaren Ergebnissen gerechnet werden kann, für ein kleines, auf Export angewiesenes Land wie die Schweiz zur Zusammenarbeit mit anderen Staaten nicht sehr gut geeignet. In der Regel ist dann nämlich nur eine nationale Patentierung möglich. Vor- und Nachteile einer internationalen Einbettung von Energieforschungsprojekten müssen daher von Fall zu Fall gut abgewogen werden.

Internationale Projekte haben in der schweizerischen Energieforschung bereits Tradition. Kontaktstelle ist dabei das BEW.

Die Zusammenarbeit im Rahmen der **Internationalen Energie-Agentur (IEA)** besteht seit 1977 und ist gut eingespielt. Die Schweiz beteiligt sich heute an mehr als der Hälfte aller IEA-Projekte. Sie hat bei Projektgestaltung und -durchführung ein echtes Mitspracherecht.

Da auch die Europäische Union (EU) als Partner bei den IEA-Projekten mitmacht, ist die **Schweiz mit den EU-Energieforschungsprojekten gut vertraut**. Zudem besteht eine Reihe von **Abkommen zur Beteiligung an EU-Programmen** wie COST, EUREKA und EURATOM. Auch an den **EU-Forschungsrahmenprogrammen** im Energiesektor beteiligen sich schweizerische Forschungsinstitutionen. Allerdings ist der Zugang zu letzteren derzeit noch erschwert, und die Mitsprachemöglichkeiten bei Programmgestaltung und Projektauswahl sind stark eingeschränkt.

Im bundesrätlichen Konzept der Energieforschung wird eine **Zusammenarbeit mit Oststaaten und mit Drittweltländern als wünschenswert erachtet**. Dabei stehen eher kurzfristige Aspekte im Vordergrund. Eine effiziente Kooperation ist vorderhand nur über Direktkontakte und Direktfinanzierung möglich. Es gilt, mit sinnvollen gemeinsamen Projekten dortige Forschergruppen zu stärken und zu stabilisieren. Auch soll geprüft werden, ob Feldforschung im Osten durchgeführt werden kann, deren Ergebnisse sich auf einfache Weise auf die Schweiz übertragen lassen.

Eine weltweite Zusammenarbeit mit und ein **verstärktes Engagement in Drittweltländern** wird langfristig und **insbesondere im Problemkreis Energie/Umwelt** als wichtig erachtet.

International-Lexikon

Die **Internationale Energie-Agentur** IEA wurde 1974 mit Sitz in Paris von der OECD gegründet, als diese nach der Ölkrise 1973 die Energieversorgung als gefährdet erachtete (die OECD, Organisation für wirtschaftliche Entwicklung, stimmt Wirtschaftspolitik und Entwicklungshilfe der Industriestaaten aufeinander ab). Der IEA ist unter anderem das Ziel gesetzt, den Anteil des Erdöls an der Energieversorgung der Industrieländer zu vermindern und vermehrt alternative Energien zum Erdöl einzusetzen. Dazu bietet die IEA einen Rahmen für die Durchführung von Forschungsprojekten, die von den Teilnehmerstaaten an diesen Projekten finanziert werden.

EURATOM steht für Europäische Atomgemeinschaft. Ihr liegt ein 1957 geschlossener Vertrag der EU-Mitgliedstaaten zugrunde, der die Bildung und Entwicklung von kerntechnischen Industrien in diesen Staaten zum Ziel hat. Die Schweiz arbeitet seit 1979 mit EURATOM zusammen.

EUREKA ist eine 1985 geschaffene westeuropäische Initiative zur Förderung der grenzüberschreitenden Zusammenarbeit zwischen Unternehmen und Instituten mit marktnahen Forschungsvorhaben.

Im Rahmen von **COST**, der 1971 initiierten europäischen Zusammenarbeit auf dem Gebiet wissenschaftlicher und technischer Forschung, werden Forschungsprojekte koordiniert. Ziel ist die Erhöhung der Forschungseffizienz.

Das **Forschungsrahmenprogramm der EU** will die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie stärken, u.a. auf dem Gebiet der Energie. Dazu werden nationale Forschungstätigkeiten gefördert, die besonderer Anstrengungen bedürfen.



Internationale Zusammenarbeit zur **Kernfusion**: In der Schweiz entwickelte Beschichtungen des Tokamak-Innenraums mit Borkarbid im Bild im JET – halten das Plasma weitgehend frei von Verunreinigungen.



Internationale Zusammenarbeit in der **Photovoltaik**: An der ETH Lausanne werden in einem IEA-Projekt PV-Anlagen nebeneinander betrieben, um die Integration in Gebäuden zu demonstrieren.

Inter-
nationale
Einbettung

Forschungsergebnisse sollen Produkte werden!

Forscher sind in der Regel keine Kaufleute. Sie treiben Forschung in erster Linie, um ihre wissenschaftliche oder technische Neugier zu befriedigen. Ist ein Projekt beendet, wenden sie sich dem nächsten zu. Was mit den Forschungsergebnissen geschieht, hat für die Forscher oft nur sekundäre Bedeutung. Diese Einstellung ist in der Grundlagenforschung weiter verbreitet als in der angewandten, und sie ist in der öffentlichen Forschung eher anzutreffen als in der privatwirtschaftlichen. In jedem Fall aber sind Forschungsergebnisse, die sich zwar zu einem neuen oder zu einem verbesserten Produkt oder Verfahren verwerten liessen, aber nicht oder nicht im möglichen Umfang oder nicht genügend rasch umgesetzt werden, vergeudete Mühe und vergeudetes Geld.

Erfolgreiche Umsetzung ist in der Energieforschung besonders wichtig, weil sie zur Sicherung der Energieversorgung beiträgt. Direkter Nutzen für die Volkswirtschaft entsteht aber auch aus einer mit neuen Produkten gestärkten Konkurrenzfähigkeit der Industrie. Aus diesen Gründen wird der Umsetzung international immer mehr Aufmerksamkeit entgegengebracht, nachdem sie in der Vergangenheit etwas vernachlässigt worden war.

Nun gibt es für die Umsetzung von Ergebnissen der Energieforschung **keine einfachen Rezepte**. Da sollen die oft auseinandergehenden Interessen von Forschern, Industrie, Verwaltung, Wirtschaft und Konsumenten auf einen gemeinsamen Nenner gebracht werden. Da verlangt das eine Thema eine ganz andere Umsetzungsstrategie als ein nächstes. Und da strebt die Industrie immer stärker nach kurzfristig vermarktbareren Ergebnissen, wogegen die öffentliche Energieforschung im Interesse der Zukunft auch ferne Ziele zu verfolgen hat. Kurz: **Umsetzung muss viele verschiedene Wege beschreiten**.

Eine internationale Expertenkommission, welche 1992/93 die **Schweizer Energieforschung** kritisch unter die Lupe nahm, hat ihr **in bezug auf die Umsetzung eine gute Note** erteilt. Was waren die **Massnahmen**, die das BEW getroffen hatte?

- Als Informations- und Umsetzungsstelle wurde **ENET** geschaffen, worüber alle wichtigen Publikationen der Öffentlichkeit zugänglich sind. Das BEW besorgt auch die Einspeisung in eine internationale Datenbank.
- Bei geförderten Projekten werden **ausführliche Jahresberichte** verlangt und **der Öffentlichkeit, insbesondere der interessierten Industrie, zugänglich** gemacht.
- Nicht direkt in die Energieforschung eingebundene Unternehmen und Verbände werden zu **regelmässigen Informationsveranstaltungen** eingeladen.
- Die Möglichkeit der **Unterstützung von P&D-Projekten** durch BEW und Kantone ist eines der wichtigsten Instrumente, das der Umsetzung von Ergebnissen der Energieforschung in der Schweiz zur Verfügung steht.
- Die Bereichsleiter sind gehalten, zusammen mit den detaillierten Ausführungsplänen für ihren Bereich auch **Umsetzungskonzepte** zu erstellen.

Als der Umsetzung sehr förderlich hat sich auch an vielen Beispielen der **Wechsel von Hochschulabsolventen innerhalb desselben Arbeitsgebietes in die Industrie** erwiesen, wo sich ihre mitgebrachten Forschungskennnisse und der neue Zwang zur praktischen Anwendung gegenseitig befruchten.

Umsetzungs-Lexikon

Umsetzung lässt sich definieren als Überführung (Transfer) von Forschungsergebnissen in die praktische Anwendung. An einem Beispiel aus der Energieforschung ausgedrückt: Ein Forschungsprojekt hat gezeigt, dass während der Heizperiode eine transparente Wärmedämmung (kurz: TWD) je m² Fläche auf der Südfassade über 100 kWh Wärme ins Haus bringt. Daraufhin werden einige P&D-Anlagen erstellt, sie bestätigen das Forschungsergebnis. Nun nehmen mehrere Schweizer Firmen die Produktion von TWD-Materialien auf, diese verkaufen sich zunächst langsam, dann immer besser – die Umsetzung ist geglückt.

Ein wichtiger Schritt zur Umsetzung sind **P&D-Anlagen**. In P- bzw. **Pilotanlagen** wird erstmals eine Anlage oder ein Verfahren aus dem Labormassstab auf einen technischen Massstab übertragen und in diesem Massstab erprobt.

Der nächste Schritt sind D- bzw. **Demonstrationsanlagen**, die im Massstab 1:1 erbaut werden und eine strenge technische, wirtschaftliche und ökologische Beurteilung im Hinblick auf eine erhoffte Markteinführung ermöglichen. Sie dienen also der Markterprobung.

P- und insbesondere D-Anlagen sollen auch potentielle Anwender auf die neue Technologie oder das neue Produkt aufmerksam machen.

Umsetzungs-Beispiel: **Besonnungs-Atlas der Schweiz**

Ende der 1970er-Jahre ist Fachleuten klar: Eine breite und effiziente Nutzung der Sonnenenergie setzt voraus, dass für jeden Ort in der Schweiz Sonnenscheindauer und -stärke bekannt sind. Nur dann kann man den Energie-Ertrag von Solaranlagen vorausberechnen bzw. Kollektorfläche und Warmwasserspeicher richtig bemessen. Zwar gibt es einige Wetterstationen, die Sonnendaten messen – aber rund 3000 Gemeinden. Kurzum: Es besteht dringender Bedarf für einen »Besonnungs-Atlas«, der für jeden Ort die »Einstrahlung« wiedergibt. Zu diesem Projekt METEONORM finden sich Meteorologen und Anwender zusammen, NEFF und BEW übernehmen die Finanzierung.

1982 bis 1985: Vorhandene Daten für Solarplaner kaum brauchbar, weil Messungen zu kurz oder zu ungenau. Daraufhin aufwendige Aufbereitung der langjährigen Sonnenscheindaten von 69 Wetterstationen, dazu Auswertung von Satellitenbildern zur Abschätzung der Bewölkungsverteilung. Herausgabe der Hefreihe mit neuer Präsentation meteorologischer

Daten »METEONORM für den Solarplaner«, vor allem **für Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung**.

1986 bis 1988: Projektfortsetzung mit Messungen und Auswertungen, damit Ergänzung der METEONORM mit Daten **für Photovoltaik-Anlagen**.

1989 bis 1990: Weitere Messungen und Auswertungen, Ergänzung der METEONORM mit Daten für **Windkraftanlagen**.

1991 bis 1995: Projektfortsetzung mit Messungen und modernsten EDV-Methoden. Herausgabe eines **Handbuchs mit PC-Programm** zur genauen Berechnung der Einstrahlung an beliebigen Orten für aktive, passive und photovoltaische Nutzung.

Die »Umsetzung« der Projektergebnisse kann man im Verkauf von mehr als 12.000 Exemplaren der Ausgaben 1985/88/90 sehen (davon 10 % im Ausland). »METEONORM« ist bei Schweizer Solarplanern bereits selbstverständlich.

Forschung ist immer ein Vorstoss in unbekanntes Neuland – man kann nie sicher sein, das angestrebte Ziel zu erreichen. So manches Projekt führt trotz sorgfältiger Vorbereitung und Prüfung nicht zum Erfolg.

Oben und auf Seite 23 ist der Ablauf einiger Projekte skizziert, die teils glatt, teils erst über mehr oder minder hohe Hindernisse das Ziel erreicht haben oder auf gutem Wege dorthin sind.

Trotz der guten Note wurden Mitte der 1990er-Jahre Schwachstellen der Umsetzung offenbar. Eine Abhilfemassnahme setzte das **BEW 1996 mit einer Restrukturierung**, mit der es die organisatorische Trennung zwischen Forschung einerseits und Markteinführung andererseits beseitigte. Die neue Struktur fasst innerhalb eines technischen Fachgebiets bzw. »Bereichs« sowohl Forschungsprogramme wie P&D-Anlagen und aktive Markteinführung zusammen, wodurch sich die Koordination zwischen den 15 Bereichen zum Vorteil der Umsetzung wesentlich verbessern sollte.

Weitere Vorschläge zur Beseitigung von Umsetzungs-Schwachstellen erbrachte auch die 5. Schweizerische Energieforschungskonferenz im November 1995 in Yverdon, die das BEW unter das Thema »Umsetzung der Ergebnisse« gestellt hatte. Daraus resultierte eine Reihe von Aktionen, die im wesentlichen eine **engere Zusammenarbeit der öffentlichen mit der industriellen Forschung** zum Ziel haben:

- Beispielsweise soll – durch aktiveres Zugehen auf sie – die **Industrie möglichst früh in Forschungsprojekte einbezogen** werden, um diese ihren Bedürfnissen anzupassen.
- In die Begleitgruppen der einzelnen Forschungsbereiche werden **mehr Industrievertreter** mit Erfahrung in der Forschungsumsetzung aufgenommen. Die Gruppen beurteilen die Projektgesuche auch im Hinblick auf deren Umsetzbarkeit.

Der Bedeutung der Umsetzung in der Energieforschung wird in dieser Broschüre dadurch Rechnung getragen, dass am Schluss der Beschreibung eines jeden Forschungsbereichs die wichtigsten Umsetzungs-Massnahmen innerhalb des zugehörigen Programms zusammengefasst und graphisch hervorgehoben sind.

Umsetzungs-Beispiel: PV-Elemente für Flachdächer

Um Solarstrom durch Einsparung von Grundstückskosten billiger zu machen, sollen die PV-Module (S. 8) auf Fassaden und Dächern montiert bzw. »aufgeständert« und damit in das Gebäude integriert werden (im Sinne der Übernahme einer weiteren Funktion, z.B. Dach- oder Fassadenabdeckung, wodurch sie herkömmliche Elemente ersetzen). Insbesondere die vielen, heute ungenutzten Flachdächer von Büro- und Fabrikgebäuden bergen ein enormes PV-Potential. Leichtere, einfachere zu montierende und daher kostengünstigere als die üblichen Flachdach-Aufständerungen schlug eine Forschungsgemeinschaft vor, die aus einem auf PV spezialisierten Ingenieurbüro, einem ebensolchen Hochschulinstitut und einem künftigen Anwender bestand. Das BEW förderte das Projekt ab 1992.

- 1992 und 1993: Entwürfe und Tests von Ständerelementen aus Beton, Stahl, Alu-Verbund und Eternit für »Sägezahn-Aufstellung«, Elektro-Verkabelung integriert. Ökobilanz und Preis sprechen für Beton.
- 1994 und 1995: Fünf P&D-Anlagen auf Schulen und Fabrikdächern. Ständerelemente weiter verbessert und verbilligt (weniger als 50 % üblicher Ständer, damit erstmals Solarstrom deutlich unter 1.- Franken je kWh möglich). Die Elemente halten allen Windkräften ohne spezielle Verankerung stand. PV-Module werden mit Metallbügeln »aufgeklipst«.

Das komplette Aufständersystem für Standard-PV-Module ging 1996 in Produktion. Die erste Grossanlage – 102 kW Spitzenleistung aus 1200 Standard-PV-Modulen auf 2400 Betonsockeln – entsteht auf dem Dach eines neuen Bankgebäudes nahe Lugano.



Umsetzungs-Beispiel PV-Elemente für Flachdächer: Je ein PV-Modul von 120 cm Länge und 52 cm Breite liegt auf zwei Betonsockeln auf. Das Gewicht der Sockel allein garantiert ausreichende Standsicherheit gegenüber Windkräften.



Umsetzungs-Beispiel Holzfeuerungen: Neue Holzöfen und -herde verbinden optimale Feuerungstechnik mit modernem Design. Für Niedrigenergiehäuser reichen sie als einzige Wärmequelle.

Umsetzungs-Beispiel: Holzfeuerungen

Von den 1980er- bis in die frühen 1990er-Jahre wurden viele Projekte für **sparsame und schadstoffarme Holzfeuerungen** gefördert (s. S. 10). Heute werden für alle Anwendungsbereiche – vom Holzofen für Niedrigenergiehäuser über Holzgefeuerte Nahwärmesysteme bis zum Holz-Blockheizkraftwerk – hocheffiziente und umweltverträgliche Anlagen angeboten.

Umsetzungs-Beispiel: Ölheizkessel-Korrosion

In den 1980er-Jahren **korrodierten** manche besonders effizienten Haus-Ölheizkessel, sog. **Brennwertkessel**, schon nach wenigen Jahren. Ein Forschungsprojekt ermittelte Schwefelsäure, die sich aus dem Schwefel im Heizöl bildete und an der Kessel-aussenwand kondensierte, als Ursache. In einem weiteren Projekt konnte gezeigt werden, dass eine Beschichtung mit thermisch härten-den Kunstharzen den Kessel wirksam vor Korrosion schützt.

Umsetzungs-Beispiel: Akku für Elektromobile

Ein Forschungsprojekt zur Entwicklung verbesserter **Nickel-Metallhydrid-Akkumulatoren** (s. S. 17) endet Mitte der 1990er-Jahre in einem Prototyp für Elektrofahrzeuge, der als international konkurrenzfähig eingestuft wird. Da jedoch ungewiss ist, wie sich der Markt für Elektromobile entwickeln wird, erscheint eine Serienherstellung grösserer Einheiten dieser Batterie bis auf weiteres wirtschaftlich allzu riskant.

**Umsetzung
der
Forschungs-
ergebnisse**

WER und WAS wird WIE öffentlich gefördert?

Dass die Energieforschung von Forschungsstellen des Bundes und der Kantone – wie ETH, Universitäten, Fachhochschulen oder Paul-Scherrer-Institut (PSI) – mit öffentlichen Mitteln gefördert wird, bedarf keiner Frage. Ob aber die öffentliche Hand auch die private Energieforschung – Forschungsprojekte von Industriefirmen, Ingenieurbüros und Einzelpersonen – finanziell unterstützen solle, war in der Schweiz umstritten. Die Industrie, und vor allem grosse Firmen, hat lange Zeit eine Forschungsförderung abgelehnt, und das aus gutem Grund: **Wer öffentliche Gelder in Anspruch nimmt, muss auch die Forschungsergebnisse öffentlich zugänglich machen** – und läuft damit Gefahr, dass die Konkurrenz mitprofitiert.

Mittlerweile sind Modelle erarbeitet und erprobt worden, die Unternehmen eine **Schutzfrist für die »sensiblen« Forschungsergebnisse** gewähren. Noch mehr aber als diese Anpassung an die Unternehmer-Interessen **hat die Rezession Anfang der 1990er-Jahre die Nachfrage nach Forschungsförderung aus der Privatwirtschaft massiv ansteigen lassen** (dazu kommt der Konkurrenzdruck aus dem Ausland, wo die Industrieforschung meist starke staatliche Unterstützung erfährt). Offenbar betrachtet man Forschungsgelder nunmehr als willkommene Beihilfe (während die eigenen Forschungsaufwendungen rezessionsbedingt zurückgehen).

Allerdings zieht die Industrie als wichtig erachtete Entwicklungen nach wie vor gern »unter Ausschluss der Öffentlichkeit« durch, also ohne Förderung durch die öffentliche Hand. Unterstützung sucht die Industrie eher für Randprobleme und für finanziell risikoreiche Vorarbeiten, die noch nicht unmittelbar in Produkte münden.

Etlchen **Ingenieurbüros ermöglicht »Auftragsforschung«**, denn das sind geförderte Forschungsprojekte vielfach, **eine Spezialisierung** und damit eine Stärkung ihrer Konkurrenzfähigkeit.

Schwerpunkt der Förderung ist die angewandte Energieforschung. Das ist Forschung, deren Ergebnisse sich in einem Produkt (z.B. einem stromsparenden Computer), einer Energieumwandlungsanlage (z.B. einer Brennstoffzelle), in der Verbesserung bestehender Massnahmen (z.B. stauvermeidender Verkehrslenkung) oder Verfahren (z.B. energiesparende Luftkühlung) niederschlagen.

Pilot- und Demonstrationsanlagen beschleunigen die Umsetzung von Forschungsergebnissen in die praktische Anwendung. Daher werden auch sie gefördert, jedoch unter der Bedingung, dass die Industrie oder der Betreiber den Hauptteil der Kosten trägt. Eine solche Beteiligung zwingt nämlich die Industrie, sich mit dem Vorhaben kritisch auseinanderzusetzen, was wiederum die Ausichten auf eine selbständige Umsetzung erhöht.

Gezielte direkte Unterstützung von Energieforschungs-Projekten gewähren **neben dem BEW** (s. Spalte rechts) auch die Forschungsfonds der Energiewirtschaft.

Verschiedene Kantone richten Beiträge zu Pilot- und Demonstrationsanlagen auf dem Gebiet der Energietechnik aus; Auskünfte über kantonale Förderungen und die Modalitäten der Gesuchstellung erteilen kantonale Energiefachstellen.

Der rechtliche Rahmen der Förderung

Der Bund stützt seine direkte Forschungsförderung im Energiebereich auf folgende rechtliche Grundlagen:

- Atomgesetz (Art.2) vom 23.12.59,
- Forschungsgesetz vom 7.10.1983,
- Energienutzungsbeschluss (Art.10) vom 14.12.1990.

Daneben bestehen auf Verfassungs- und Gesetzesebene zahlreiche Sachkompetenzen des Bundes, die eine Förderung der Energieforschung erlauben (z.B. Umweltschutzgesetzgebung).

Die Bundes-Förderung erfolgt teils indirekt durch Beiträge an den Schweizerischen Nationalfonds, an Forschungsprogramme der EU sowie durch die Finanzierung der ETH und deren Forschungsanstalten. Gezielte direkte Unterstützung ist jedoch nur über das BEW möglich.

Der 1990 angenommene Energieartikel der Verfassung gibt dem Bund auch Kompetenz zur Förderung von Pilot- und Demonstrationsanlagen vor allem zum Energiesparen und zur Nutzung erneuerbarer Energie.

Der seit 1991 gültige Energienutzungsbeschluss schafft eine Rechtsgrundlage zur Unterstützung von P&D-Anlagen. Er soll 1998 durch ein Energiegesetz mit der gleichen Grundlage abgelöst werden.

Einige Kantone haben die Unterstützung von P&D-Anlagen gesetzlich verankert, andere Kantone können dies nur bei kantonseigenen Anlagen.

Über die an den kantonalen Hochschulen und an den Höheren Technischen Lehranstalten bzw. Fachhochschulen durchgeführten Arbeiten tragen auch die Kantone zur Energieforschung bei.

Wie Gesuche gestellt und behandelt werden

Von Hochschulinstituten über Firmen und Ingenieurbüros bis zu Einzelpersonen steht es allen frei, **beim BEW** eine Förderung von Energieforschungsprojekten zu beantragen.

Das Projekt-Ziel muss mit dem »Konzept der Energieforschung des Bundes« harmonieren. Daher vergewissern sich Antragsteller anhand des jeweils gültigen Konzepts und vor allem des Ausführungsplans für den betreffenden Bereich, ob ihr Projekt mit den Bundes-Zielen übereinstimmt (»Konzept« wie Ausführungspläne sind beim BEW erhältlich).

Ein Gesuch wird in Form einer Projektskizze oder einer ausformulierten Forschungs-offerte beim BEW eingereicht (das dafür spezielle Formulare zur Verfügung stellt).

Das BEW schreibt fallweise auch Forschungsprojekte aus und publiziert die Bedingungen in den entsprechenden Fachzeitschriften und in den »ENET-News«. Gesuche aufgrund solcher Ausschreibungen werden wie »freie« Gesuche behandelt.

Innerhalb eines Monats teilt das BEW mit, ob es das Gesuch ablehnt oder darauf eintritt. Der endgültige Bescheid erfolgt in der Regel innerhalb von drei Monaten ab Gesuch-eingabe, nachdem das Projekt von einem Expertengremium begutachtet worden ist.

Über die Förderbeiträge entscheidet das BEW nach Anhörung der Experten und des jeweiligen Programm- und Bereichsleiters. Je nach Projektumfang und -kosten sind Beiträge von einigen 10.000 bis zu über 1 Mio. Franken möglich. Die Projektdauer beträgt im Durchschnitt drei Jahre.

Kontaktadressen: s. nächste Seite.

Förderung
der
Energie-
forschung

Adressen der Bereichs- und Programmleiter

BEREICH Teilbereich	Bereichsleiter (am BEW)	Forschung / Programmleiter / P&D		
		Forschung	Programmleiter / P&D	
Sektion Rationelle Energienutzung	GEBÄUDESYSTEME UND -HÜLLE	Hans-Peter Nützi 031 - 322 56 49	Markus Zimmermann , EMPA-KWH, 8600 Dübendorf Tel. 01 - 823 41 78, Fax 01 - 821 62 44 E-mail: mark.zimmermann@empa.ch	
	HAUSTECHNIK HKL	Martin Stettler 031 - 322 55 53		
	SOLARARCHITEKTUR und TAGESLICHTNUTZUNG	Walter Luginbühl 031 - 322 56 41	Robert Hastings , ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich Tel. 01 - 633 29 88, Fax 01 - 633 10 75 E-mail: hastings@orl.arch.ethz.ch	
	ELEKTRIZITÄT, GERÄTE	Rolf Schmitz 031 - 322 54 61	Roland Brüniger , Isenbergstr. 30, 8913 Ottenbach Tel. 01 - 760 00 66, Fax 01 - 760 00 68 E-mail: roland.brueiniger@r-brueiniger-ag.ch	
Sektion Erneuerbare Energie	UMGEBUNGSWÄRME, WÄRME-KRAFT-KOPPLUNG	Fabrice Rognon 031 - 322 47 56	Martin Zogg , Kirchstutz 3, 3414 Oberburg Tel. 034 - 422 07 85, Fax 034 - 422 69 10 E-mail: martin.zogg@bluewin.ch	Fabrice Rognon
	AKTIVE SOLARNUTZUNG Solarwärme	Urs Wolfer 031 - 322 56 39	J.-Chr. Hadorn , ch. des Fleurettes 5, 1007 Lausanne Tel. 021 - 616 28 31, Fax 021 - 616 28 31 E-mail: jchadorn@swissonline.ch	Pierre Renaud , PLANAIR, Crêt 108 A, 2314 La Sagne, Tel. 032 - 931 88 28, Fax 032 - 931 18 68 E-mail: info@planair.ch
	AKTIVE SOLARNUTZUNG Photovoltaik		Stefan Nowak , Waldweg 8, 1717 St. Ursen Tel. 026 - 494 00 30, Fax 026 - 494 00 34 E-mail: stefan.nowak.net@bluewin.ch	
	HOLZ	Daniel Binggeli 031 - 322 68 23	Daniel Binggeli	Chr.-W. Rutschmann , VHE, Falkenstr. 26, 8008 Zürich, Tel. 01 - 252 30 70, Fax 01 - 251 41 26 E-mail: lignum@access.ch
	ÜBRIGE BIOMASSE	Martin Hinderling 031 - 322 56 42	Martin Hinderling	
	ÜBRIGE ERNEUERBARE ENERGIE Geothermie	Martin Brunner 031 - 322 56 10	Harald L. Gorhan , EWI, Bellerivestr. 36, 8034 Zürich Tel. 01 - 385 27 33, Fax 01 - 385 26 54 E-mail: harald.gorhan@ewi.ch	
	ÜBRIGE ERNEUERBARE ENERGIE Kleinwasserkraftwerke		Martin Brunner	H.P. Leutwiler , ITECO, Postfach, 8910 Affoltern a. A., Tel. 01 - 762 18 33, Fax 01 - 762 18 15 E-mail: iteco@iteco.ch
	ÜBRIGE ERNEUERBARE ENERGIE Wind		Martin Brunner	Robert Horbaty , ENCO, Oristalstr. 85, 4410 Liestal, Tel. 061 - 922 08 04, Fax 061 - 922 08 31 E-mail: iteco@iteco.ch
	ABWÄRME		Martin Zogg , Kirchstutz 3, 3414 Oberburg Tel. 034 - 422 07 85, Fax 034 - 422 69 10 E-mail: martin.zogg@bluewin.ch	Martin Brunner
Sektion Sonderbereiche	CHEMISCHE UND FOSSILE ENERGIETRÄGER Solarchemie und Wasserstoff	Alphons Hintermann 031 - 322 56 54	Armin Reller , BTW, Schlachthofstr. 1, 8406 Winterthur Tel. 052 - 20 09 90, Fax 052 - 20 09 91 E-mail: btwag@dia.eunet.ch	
	CHEMISCHE UND FOSSILE ENERGIETRÄGER Feuerung und Verbrennung		Alphons Hintermann	
	CHEMISCHE UND FOSSILE ENERGIETRÄGER Wärmespeicherung		Jean Christophe Hadorn , ch. des Fleurettes 5, 1007 Lausanne Tel. 021 - 616 28 31, Fax 021 - 616 28 31 E-mail: jchadorn@swissonline.ch	
	KERNENERGIE Kerntechnik und nukleare Sicherheit	Christophe de Reyff 031 - 322 56 66	Wolfgang Kröger , PSI, 5232 Villigen Tel. 056 - 310 27 42, Fax 056 - 310 44 11 E-mail: kroeger@psi.ch	
	KERNENERGIE Regulatorische Sicherheitsforschung		Sabyasachi Chakraborty , HSK, 5232 Villigen Tel. 056 - 310 39 36, Fax 056 - 310 39 95 E-mail: chakraborty@hsk.psi.ch	
	KERNENERGIE Kernfusion		Stéphane Berthet , BBW, 3003 Bern Tel. 031 - 322 99 67, Fax 031 - 322 78 54 E-mail: stephane.berthet@bbw.admin.ch	
	AKKUMULATOREN / BRENNSTOFFZELLEN	Léo Dubal 031 - 322 56 44	Léo Dubal	
	VERKEHR Verkehr allgemein	Martin Pulfer 031 - 322 49 06	Martin Pulfer	
	VERKEHR Verkehr Leichtmobile		Martin Pulfer	Urs Muntwyler , Postfach 512, 3052 Zollikofen Tel. 031 - 911 50 63, Fax 031 - 911 51 27
ENERGIEWIRTSCHAFTLICHE GRUNDLAGEN	Stefan Hammer 031 - 322 56 24	Ruedi Meier , Bolligenstr. 14, 3006 Bern Tel. 031 - 633 36 22, Fax 031 - 333 24 69		

alle: BEW, 3003 Bern
Fax 031 - 382 44 03
E-mail: vorname.name@bew.admin.ch

Inhalt

Wozu diese Broschüre?

- 1 Energieforschung – auch eine politische Aufgabe*
- 2 Energieforschungs-Strategie für die nächste Zukunft*
- 3 Der organisatorische Rahmen:
Bereiche, Programme, Projekte und Experten*
- 4 Das Gebäude als rationelles Energiesystem*
- 6 Stromsparende Anlagen und Geräte*
- 7 Umgebungs- und Abwärme nutzen*
- 8 Sonnenkollektoren für Warmwasser und Heizung*
- 9 Strom von Dach und Fassade*
- 10 Für mehr und saubere Energie aus Holz und übriger Biomasse*
- 11 Heizwärme (und Strom?) aus der Tiefe?*
- 12 Strom aus Wind und Kleinwasserkraftwerken*
- 13 Energiespeicher: Solarchemie, Wassertanks und Boden*
- 14 Mit Laser und Computer zu sauberer Verbrennung*
- 15 Sicherheitsforschung für die Kernkraftwerke*
- 16 Kleine Schritte zum grossen Ziel Kernfusion*
- 17 Batterien für Heim, Auto und Industrie*
- 18 Brennstoffzellen für Heizung, Strom und Autos*
- 19 Treibstoffsparen im Strassenverkehr*
- 20 Wie hängen Gesellschaft, Politik, Umwelt und Energie zusammen?*
- 21 Zusammenarbeit über die Grenzen – ein Gebot und längst Praxis*
- 22 Forschungsergebnisse sollen Produkte werden*
- 24 WER und WAS wird WIE gefördert?*

Bereiche und Adressen der Bereichs- und Programmleiter

