



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE

Öffentliche Energieforschung in der Schweiz



Inhaltsverzeichnis

Vorwort	2
Interview mit Tony Kaiser, Präsident der CORE	3
Öffentliche Energieforschung: Beitrag an eine nachhaltige Entwicklung	5

Effiziente Energienutzung

Beim Verfahrensdesign an alles denken	9
Gebäude: Immer weniger Energie für immer mehr Komfort	10
Fahrzeuge sollen effizienter, leichter und intelligenter werden	12
Akkumulatoren: Verbesserte Energiespeicherung durch Akkumulatoren	13
Elektrizität: Auftrag für mehr Effizienz und innovative Technologien	14
Netze: Flexibel, zuverlässig und wirtschaftlich	15
Strom- und Wärmeproduktion gehören zusammen	16
Verbrennung: Den Flammen auf der Spur	18
Kraftwerke: Verbesserte Grossanlagen werden verlangt	19
Brennstoffzellen: Schweizer Entwicklungen für eine europäische Schlüsseltechnologie	20

Erneuerbare Energien

Wege zur vermehrten Nutzung von Solarwärme	21
Die Photovoltaik kommt in die industrielle Phase	22
Hochtemperatur-Sonnenenergie	24
Wasserstoff: Mit einer Vision unterwegs	25
Umgebungswärme: Optimale Umwandlung von Energie	26
Wasserkraft: Klein, dezentral – und umweltfreundlich	27
Biomasse: Verbrennen, vergasen, vergären	28
Geothermie: Wärme und Strom aus der Tiefe	30
Windkraft: Rückenwind für schweizerisches Know-how	31

Kernenergie

Kernspaltung: Mit neuen Reaktorkonzepten Potenziale erweitern	32
Kernfusion: Meilensteine für die Nutzung grosser Potenziale	34

Querschnittsaufgaben

Rahmenbedingungen für eine nachhaltige Energieversorgung	36
Langer Atem für Innovationsprozesse	38
Internationale Zusammenarbeit	40

Adressen	41
----------	----

Vorwort



Liebe Leserin, lieber Leser

Die Energieforschung ist ein zentrales Element jeder zukunftsorientierten Klima- und Energiepolitik. Der Weg hin zu einer zuverlässigen, effizienten, umweltschonenden und wirtschaftlich tragbaren Energieversorgung führt vor allem über eine qualitativ hochstehende und exzellente Forschung. Dabei liegen die Vorteile einer leistungsstarken Energieforschung auf der Hand: Sie schafft neue Arbeitsplätze, technische Innovationen steigern die Energieeffizienz und die verstärkte Nutzung der erneuerbaren Energien schont die natürlichen Ressourcen. Hinzu kommt, dass mit dem Export innovativer Energie- und Umwelttechnologien der Wissens- und Forschungsplatz Schweiz einen wertvollen Beitrag zur Entschärfung der globalen Klimaproblematik leistet.

Die Entwicklung neuer Energietechnologien erstreckt sich oft über Jahrzehnte. Die Forschungsarbeiten erfordern viel Zeit, sie kosten auch viel Geld und bergen oft hohe Risiken in sich. Gerade deshalb braucht es ausreichende öffentliche Mittel für die Energieforschung. Diese reduzieren die finanziellen Risiken von Projekten und geben wichtige und langfristig wirksame Impulse. Auf diese Weise ist garantiert, dass die im Interesse der zukünftigen Energieversorgung sowie zur Erhaltung des Technologiestandorts Schweiz nötigen Aktivitäten auch durchgeführt werden können.

Über die Energieforschung wird viel debattiert und geschrieben: Doch wie sie organisiert ist, welche Felder bearbeitet werden und welche Leistungen die Forschenden erbringen, darüber ist wenig bekannt. Die vorliegende Broschüre soll deshalb dazu beitragen, die Schwerpunkte der Aktivitäten der Schweizer Energieforschung aufzuzeigen.

Walter Steinmann
Direktor Bundesamt für Energie BFE

Impressum

Broschüre über die Energieforschung in der Schweiz. Frühling 2011. Erscheint in deutscher, französischer, italienischer und englischer Ausgabe. Copyright © Bundesamt für Energie BFE, Bern, Schweiz. Alle Rechte vorbehalten.

Herausgabe und Produktion

Bundesamt für Energie BFE, 3003 Bern, Schweiz.
Tel.: 031 322 56 11, Fax: 031 323 25 00
contact@bfe.admin.ch
www.bfe.admin.ch

Redaktion

Bundesamt für Energie BFE; Almut Bonhage,
Bonhage PR; Philippe Gagnebin;
Jürg Wellstein, Wellstein Kommunikation.

Übersetzung

Suter Consulting

Grafisches Konzept und Gestaltung

Agence Symbol, 1763 Granges-Paccot

Quellen des Bildmaterials

Titelseite: BFE

S.2: BFE; S.3: Alstom Schweiz AG; S.5-7: BFE; S.9: Encontrol GmbH, Niederrohrdorf; S.10-11: Mark Zimmermann, Empa; S. 12: ETH Zürich; S.13: Mes Dea; S.14: Lonza AG; S.15: ETH Zürich; S.17: Liebherr, Bulle; S.18: Wärtsilä Schweiz AG; S.19: Alstom Schweiz AG; S.20: PSI; S.21: Hochschule für Technik Rapperswil; S.22-23: VHF-Technologies SA, Yverdon-les-Bains; S.24: Airlight Energy SA; S.25: EMPA; S.26: Jürg Wellstein; S. 27: Blue-Water-Power AG, Schafisheim; S.28: Holzverstromung Nidwalden Korporation Stans; S.29: PSI; S.30: Geopower Basel AG; S.31: Meteoswiss; S.33: ETHZ/PSI; S.34: www.iter.org; S.36-37: BFE; S.38: Institut de Microtechnique, Neuchâtel; S.40: BFE.

«Wir brauchen eine Vision, um die Ziele richtig zu setzen»

Für Tony Kaiser, den Präsidenten der Eidgenössischen Energieforschungskommission CORE, weist die Energieforschung in der Schweiz eine hohe Qualität auf. Immer stärker prägen die Ziele der Energie- und Klimapolitik, also die Reduktion der Treibhausgase, die Aktivitäten der Energieforschung. Die Herausforderungen sind gross: Verlangt werden eine langfristig orientierte Energiepolitik und ein entsprechendes Forschungsbudget.

Tony Kaiser



Als Doktor der physikalischen Chemie an der Universität Zürich ist Tony Kaiser heute bei der Alstom Schweiz (AG) verantwortlich für langfristige Forschung (Director «Future Technologies») im Kraftwerksbereich. Seit 2002 ist er Mitglied der Eidgenössischen Energieforschungskommission CORE, deren Vorsitz er seit Anfang 2004 innehat.

Herr Kaiser, weshalb ist für die Schweiz die Forschung im Energiebereich von so grosser Bedeutung?

Hierfür gibt es zwei wichtige Gründe. Zum einen soll die Energieforschung die nötigen Technologien bereitstellen, um unseren eigenen Energiebedarf auf nachhaltige Weise und mit einem möglichst breiten Energie-Mix zu decken. Zum anderen stellt sie insbesondere im Hinblick auf Export und Arbeitsplätze einen beachtlichen Faktor für unsere Wirtschaft dar. Mit unserer breiten Basis an technischen Kompetenzen können wir erfolgreich Produkte für den Weltmarkt schaffen. Dieser wirtschaftlichen Wertschöpfung mit nachhaltigen Technologien gilt es bei der Ausrichtung der Energieforschung in der Schweiz Rechnung zu tragen.

Worin besteht die Aufgabe der CORE?

Ihre Aufgabe besteht im Wesentlichen darin, den Bundesrat und das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, das UVEK, im Bereich der Energieforschung des Bundes zu beraten. Diese Aufgabe ist als Mandat definiert, das die CORE bei ihrer Gründung im Jahr 1986 vom Bundesrat erhalten hat. Die 15 Mitglieder der CORE vertreten verschiedene Instanzen zur Förderung der Energieforschung in der Schweiz. In Zusammenarbeit mit dem BFE, dem Bundesamt für Energie, erstellt und aktualisiert die CORE alle vier Jahre das Konzept der Energieforschung des Bundes. Sie formuliert darin die Empfehlungen für die Energieforschung in der Schweiz. Dabei berücksichtigt die CORE selbstverständlich internationale Arbeiten und Erkenntnisse sowie Experten, zu denen auch die Leiter der Forschungsprogramme des BFE gehören.

Wie sehen Sie als Vorsitzender der CORE die Schweizer Energiepolitik?

Die Schweizer Energiepolitik orientiert sich bei der Revision des CO₂-Gesetzes an den Zielen, die sowohl in Europa als auch global diskutiert werden. Diese Ziele sind abgeleitet aus den Erkenntnissen der Klimaforschung zur Stabilisierung der globalen Temperaturzunahmen in einem Bereich von +2 bis +2,5 Grad Celsius. Sie unterstreichen, dass auch die Schweiz einen Beitrag zu den global erforderlichen, drastischen Emissionsreduktionen der Treibhausgase, insbesondere von CO₂, leisten muss. Um diese Reduktionen erreichen zu können, sind markante Effizienzsteigerungen bei allen Energieumwandlungsprozessen und Energiedienstleistungen nötig. Es braucht einen starken Rückgang bei den fossilen Energien sowie die Ausschöpfung des Potenzials an erneuerbaren Energien und CO₂-armen Technologien ganz allgemein. Langfristige, visionäre Konzepte wie die «2000-Watt-Gesellschaft» oder «1 Tonne CO₂ pro Person und Jahr» sind dabei wichtige Orientierungshilfen, die uns verdeutlichen, dass starke und nicht nur kosmetische Kurskorrekturen nötig sind.

Was kann die CORE dazu beitragen?

Schon im Konzept 2008 bis 2011, das vor etwa 3 Jahren entstanden ist, haben wir vier Zwischenziele bis 2050 festgelegt, die ganz im Sinne der eben beschriebenen Energiepolitik sind: Verzicht auf fossile Energie für Raumwärme und

CORE

1986 vom Bundesrat eingesetzt, ist die Eidgenössische Energieforschungskommission CORE (Commission fédérale pour la recherche énergétique) ein konsultatives Organ des Bundesrats und des Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK. Sie erarbeitet alle vier Jahre das Konzept der Energieforschung des Bundes, das ein Planungsinstrument für die Förderinstanzen des Bundes darstellt. Dieses zeigt auf, wie und mit welchen Mitteln die öffentliche Hand in der Schweiz die Energieforschung einsetzt, um die energiepolitischen Ziele zu erreichen. Die CORE prüft und begleitet zudem die schweizerischen Forschungsprogramme. Die Energieforschungskommission umfasst 15 Mitglieder.

www.energieforschung.ch

Warmwasser, eine Halbierung des Energiebedarfs über alle Gebäude der Schweiz betrachtet, eine vollständige Nutzung der Biomasse-Potenziale und ein durchschnittlicher Treibstoffverbrauch der Privatautos von nur noch 3 Litern pro 100 Kilometer. Wir haben damit klare Prioritäten gesetzt und uns auf die beiden massgeblichen Bereiche konzentriert: Gebäude und Mobilität. Diese Ziele sind bewusst sehr pragmatisch und anschaulich gewählt. Ihre Erreichung würde uns bis 2050 fast eine Halbierung der CO₂-Emissionen bringen; damit kämen wir den heute diskutierten CO₂-Zielen schon ziemlich nahe.

Der Gebäudebereich zählt zu den grossen Energieverbrauchern, gleichzeitig konnten hier aber auch erfreuliche Erfolge durch Energieforschungsaktivitäten verzeichnet werden. Wie soll es weitergehen?

Tatsächlich ist hier schon viel erreicht worden. Die Forschung geht aber weiter: Vom Null-Energie-Haus über das CO₂-freie Haus bis zum Gebäude, das einen Überschuss an Energie in Form von Strom produziert. Forschende arbeiten heute intensiv an architektonischen Konzepten, welche Sonnenenergie und hoch effiziente Wärmeisolationen nutzen und Verglasungen mit definierter Lichtdurchlässigkeit integrieren. Ich denke auch an innovative Heiz- und Kühlsysteme, Konzepte für die Standardisierung von energetischen Gebäudesanierungen usw. Und wenn wir an die gebäudeintegrierte Photovoltaik denken, ist es nur noch ein kleiner Schritt hin zum «Smart Grid», dem cleveren Stromnetz, das in den Forschungslabors bereits Gestalt annimmt.

Welche Bedeutung werden im kommenden Konzept 2013 bis 2016 der Energieforschung des Bundes die neusten Aussagen der Klimaforscher haben, dass die globale Erwärmung bereits irreversibel sei, aber mit drastischen Massnahmen noch stabilisiert werden könnte?

Bestimmt werden die neuesten Erkenntnisse der Klimaforschung in unser nächstes Konzept einfließen. Damit wollen wir unterstreichen, dass neue Energietechnologien CO₂-arme und effiziente Energiedienstleistungen ermöglichen müssen. Wir werden zudem versuchen, noch deutlicher als bisher thematische Forschungsschwerpunkte zu formulieren, beispielsweise «Wohnen der Zukunft» oder «Mobilität der Zukunft», um die an-

wendungsorientierte Zusammenarbeit zwischen den einzelnen Forschungsprogrammen zu fördern. Diese neue Struktur wird auch helfen, die Priorität von Forschungsthemen im Lichte der übergeordneten Zielsetzungen besser beurteilen zu können und damit eine gewisse Fokussierung zu erreichen.

Ist es nicht schwierig, sich auf ein einheitliches Energieforschungskonzept zu verständigen, wenn die CORE aus fünfzehn Mitgliedern unterschiedlichster Herkunft besteht?

Einerseits sind die Mitglieder der CORE anerkannte Spezialisten auf dem Energiegebiet, die stets auf der Suche nach erstklassigen Argumenten sind, jedoch keine Politik betreiben, und andererseits finden die Gespräche innerhalb der CORE auf sehr konstruktive Art statt. So gelingt es uns, ein Energieforschungskonzept zu erarbeiten, das die Interessen aller betroffenen Kreise berücksichtigt. Schliesslich bilden die Energieforschungskonferenzen eine ideale, breit angelegte Diskussionsplattform, auf welcher die Konzepte jeweils einem breiten Fachpublikum vorgestellt werden.

Öffentliche Energieforschung: Beitrag an eine nachhaltige Entwicklung

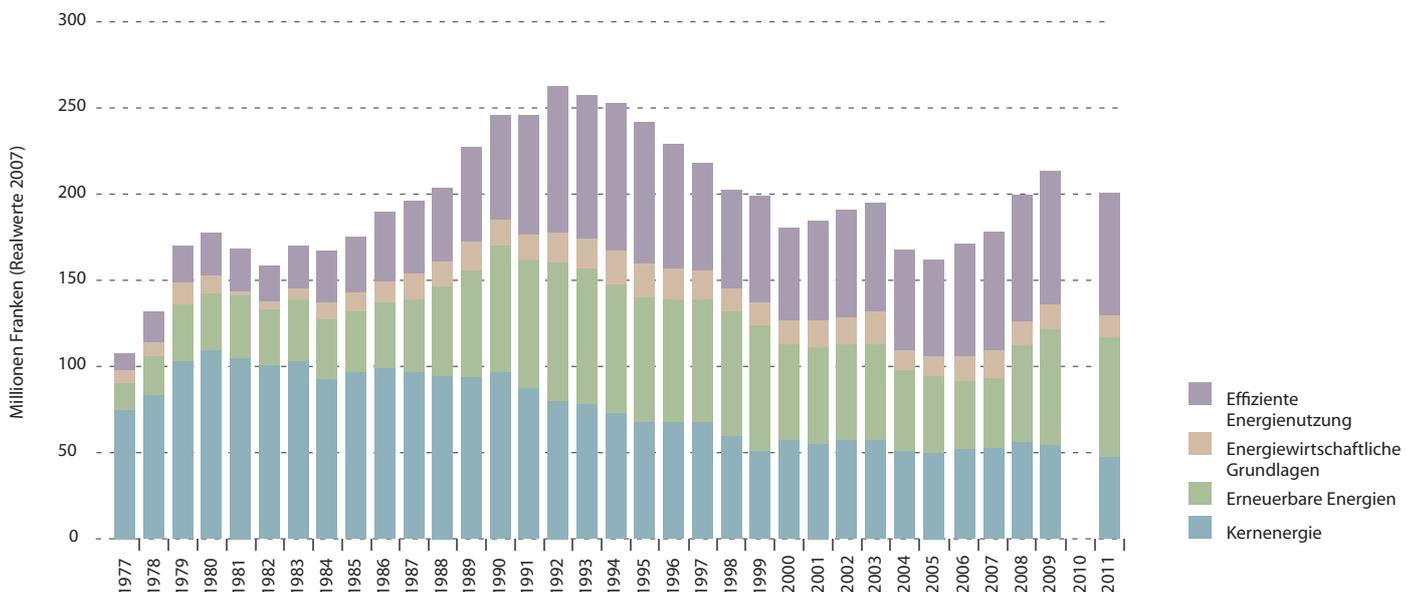
Energieforschung ist der Grundstein für unsere künftige Energieversorgung, für Innovation und Wirtschaftswachstum. Die öffentliche Energieforschung nimmt dabei eine zentrale Stellung ein, denn das öffentliche Engagement gibt Impulse, vernetzt die Forschergruppen und schlägt Brücken zur Wirtschaft. Zudem hat die öffentliche Energieforschung ein Ziel: Sie will dazu beitragen, dass der künftige Energiebedarf effizient, wirtschaftlich, nachhaltig und sicher gedeckt werden kann.

Die Forschung steht am Anfang eines Prozesses, der letztlich bis zum Markt führen soll. Die Innovationszyklen von der Grundlagenforschung bis zur Markteinführung von Produkten beanspruchen im Energiebereich oft Jahrzehnte. Private Unternehmen ziehen eine unmittelbare Rentabilität vor und wagen es häufig nicht, in langfristige Projekte zu investieren. Die öffentliche Forschung schaut über das Tagesgeschäft hinaus in die Zukunft.

Die verfügbaren Forschungsgelder sind zwar bescheiden, werden aber effektiv eingesetzt: Die Finanzmittel aus öffentlicher Hand, die jährlich in die Energieforschung investiert werden, belaufen sich auf etwa 175 Millionen Franken Anfang der 1990er Jahre waren es noch bis zu 250 Millionen Franken. Der Förderbeitrag beträgt heute etwa 0,3 Promille des Bruttoinlandsprodukts. Damit sind die Aufwendungen etwa vergleichbar mit denen der Spitzenländer Finnland, Schweden und den Niederlanden.

Im Zusammenhang mit den für eine nachhaltige Entwicklung notwendigen neuen Technologien und vor dem Hintergrund drohender Versorgungsgengpässe und einer sich abzeichnenden Klimaänderung müssen der öffentlichen Energieforschung mittelfristig wieder mehr Mittel zur Verfügung gestellt werden.

Aufwendungen der öffentlichen Hand für die Energieforschung seit Beginn der Erhebungen 1977.
Der für 2011 eingetragene Wert entspricht dem von der CORE geforderten Wert.

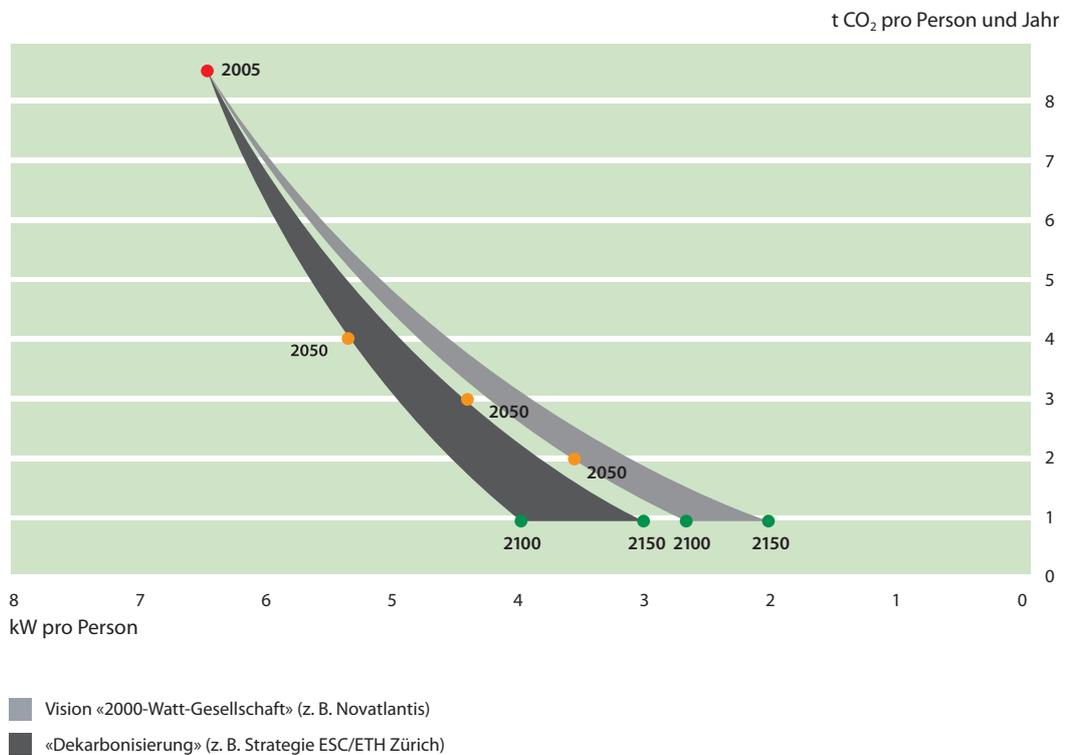


Vision 2050 und 2100

Die Ausrichtung der Schweizer Energieforschung basiert auf dem Konzept der Energieforschung des Bundes, das alle vier Jahre von der Eidgenössischen Energieforschungskommission CORE (siehe S. 3) aktualisiert wird. Für die Umsetzung dieses Konzepts ist das Bundesamt für Energie (BFE) in Zusammenarbeit mit der CORE zuständig.

Die Zielsetzungen der Energieforschung leiten sich von den energie- und klimapolitischen Zielen des Bundes ab. Die Bevölkerung der Schweiz beansprucht heute rund 6500 Watt an Primärenergie pro Person, was rund 9 Tonnen CO₂-Emissionen pro Person und Jahr verursacht. Um eine nachhaltige Energienutzung zu erreichen, wurde in einem ersten Schritt die Vision der «2000-Watt-Gesellschaft» formuliert. In Anbetracht des starken Klimawandels und der damit erforderlichen Dekarbonisierung der bestehenden Energiesysteme formulierte die ETH Zürich in der Folge die Vision der «1 Tonne CO₂ pro Person und Jahr». Während beide Ansätze eine markante Emissionssenkung anstreben, verfolgt die 2000-Watt-Gesellschaft eine gleichzeitig stärkere Reduktion des Gesamtenergieverbrauchs. Die beiden Visionen dienen als Grundlage für die Gestaltung der einzelnen Forschungsprogramme und deren Projekte.

Die Schweizer Energieforschung formuliert eine klare Stossrichtung: Im Zentrum stehen Forschungsprojekte, welche auf mehr Energieeffizienz und auf den Einsatz erneuerbarer Energien abzielen. Das übergeordnete Ziel ist eine nachhaltige Entwicklung, wie sie im Bundesverfassungsartikel gefordert wird. Im Konzept der Energieforschung des Bundes spiegelt sich diese Verpflichtung in einer langfristigen Vision für eine ideale Energie- und Umweltsituation in der fernen Zukunft wider. Angestrebt wird die «2000-Watt-Gesellschaft» (siehe S. 4), in welcher der jährliche Energieverbrauch pro Kopf auf einen Drittel des derzeitigen Niveaus gesenkt und der CO₂-Ausstoss um den Faktor sechs auf eine Tonne pro Jahr reduziert werden soll. Das Konzept definiert jedoch auch konkrete, kurzfristige Ziele, die es im Hinblick auf die Vision umzusetzen gilt. Diese Ziele werden alle vier Jahre bei der Überarbeitung des Konzepts angepasst.



Hand in Hand mit der Industrie

Die Förderung der Energieforschung ist nicht nur Sache der öffentlichen Hand allein. Die gesamte Schweizer Wirtschaft hat ein grosses Interesse daran und investiert ebenfalls in die Zukunft. So stammt der Grossteil der Finanzierung aus Kreisen der Industrie, die nahezu das Vierfache der öffentlichen Mittel investiert, womit sich der für die Energieforschung in der Schweiz aufgewendete Gesamtbetrag auf gegen eine Milliarde Franken erhöht. Allerdings fliesst ein Grossteil der von der Industrie finanzierten Forschungsmittel in die Produktentwicklung. So betrachtet sind die für die eigentliche Energieforschung aufgewendeten privaten und öffentlichen Mittel vergleichbar.

Speziell Unternehmen in risikoreichen Bereichen der Energieforschung sind auf öffentliche Gelder angewiesen. Daher ist die Zusammenarbeit zwischen Industrie und Staat seit Ende der 1980er-Jahre immer enger geworden: Man kann hier folglich von einer engen Public-Private-Partnership sprechen. Die Privatwirtschaft

ist heute in die Forschungspolitik des Bundes und der Hochschulen eingebunden und definiert zusammen mit den staatlichen Stellen die Ausrichtung der Energieforschung mit.

Mit seinen Forschungsprogrammen (siehe S. 41) ist das BFE ein wichtiger Akteur in der Schweizer Energieforschung: Es unterstützt nicht nur kontinuierlich 250 bis 300 Forschungsprojekte subsidiär und begleitet sie fachlich, sondern es stellt durch seinen Einsitz in die verschiedensten Gremien – unter anderem auch der EU und der Internationalen Energieagentur (IEA) – den Zugang der Schweizer Forschenden zu den nationalen und internationalen Förderstellen und Organisationen sicher.

65 Prozent der Mittel für angewandte Forschung

Ziel der öffentlichen Energieforschung ist die praktische Anwendbarkeit und die Marktfähigkeit der Resultate. Deshalb setzt die Forschung in verschiedenen



Stadien an und deckt nahezu den gesamten Bereich von der Grundlagenforschung bis zur Markteinführung eines Produkts ab. Der Schwerpunkt liegt in der angewandten Forschung, in die etwa 65 Prozent der Mittel fließen, und deren Ergebnisse zu Produkten, Anlagen, Materialien und Verfahren führen. Die Grundlagenforschung wird mit rund 31 Prozent der Mittel gefördert, sobald ein Nutzungspotenzial für die Energietechnik zu erkennen ist.

Mit lediglich 4 Prozent des Gesamtbeitrags werden zurzeit Pilot- und Demonstrationsprojekte gefördert. Sie sind aber für die Energieforschung – als Brücke zum Markt – unabdingbar. Dieser Technologietransfer zwischen Forschung und Markt ist ein wesentlicher Bestandteil der Aufgaben der öffentlichen Stellen, welche die Forschung unterstützen. Gerade hier ist die enge Zusammenarbeit mit der Privatwirtschaft nicht nur ein Vorteil, sondern eine zwingende Notwendigkeit.

Ein Netzwerk von Akteuren

Das BFE koordiniert die Energieforschung in enger Zusammenarbeit mit den anderen Institutionen, welche die Forschung unterstützen, insbesondere mit dem ETH-Rat, dem Staatssekretariat für Bildung und Forschung (SBF), dem Bundesamt für Berufsbildung und Technologie (BBT) über seine Förderagentur für Innovation (KTI), dem Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (SNF), den universitären Hoch- und Fachhochschulen sowie den privaten Förderstellen der Energiewirtschaft.

Ein Grossteil der Projekte wird an öffentlichen Forschungsstätten durchgeführt. Auf Bundesebene sind die Hauptakteure die Eidgenössischen Technischen Hochschulen in Zürich (ETH) und Lausanne (EPFL), das Paul Scherrer Institut (PSI) und die Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa). Auf kantonalen Ebene engagieren sich die Universitäten und die Fachhochschulen. Ausserdem werden von öffentlichen Stellen auch Forschungsprojekten von Industrie, Ingenieurbüros und Privatpersonen Finanzhilfen gewährt.

Solche Projekte werden möglichst partnerschaftlich mit öffentlichen Forschungsanstalten durchgeführt. Für das BFE gilt dabei das Prinzip der Subsidiarität, d. h. die öffentliche Förderung dient nur zur zwingend notwendigen Ergänzung der bereitgestellten privaten Mittel.

Internationale Zusammenarbeit – ein Muss!

Die Schweiz kann sich auf dem Gebiet der Energieforschung nicht vom Rest der Welt isolieren: Eine partnerschaftliche internationale Zusammenarbeit ist unabdingbar, denn sie bringt für alle Akteure Vorteile. So können Synergien genutzt, Verzettelungen vermieden und die Effizienz der Forschung verbessert werden. Internationale Projekte haben bereits Tradition, vor allem Dank der im Rahmen der IEA und der Kernenergieagentur (IAEA) der OECD gebotenen Möglichkeiten. In den letzten Jahren wächst zudem die Beteiligung der Schweiz in den Forschungsrahmenprogrammen der Europäischen Union.

Die Energieforschung will einen Grundstein legen, um in der Schweiz ein nachhaltiges Energiesystem zu schaffen. Sie macht das nicht im Elfenbeinturm, sondern kommuniziert mit anderen Disziplinen und mit der Praxis. So werden auch wirtschaftliche, politische, soziale und ökologische Faktoren einbezogen. Vor allem die öffentlichen Stellen übernehmen hier Verantwortung und informieren laufend durch eine aktive Kommunikationspolitik weite Kreise über die Ergebnisse der Energieforschung.

Beim Verfahrensdesign an alles denken

In industriellen verfahrenstechnischen Prozessen liegen Energieeinsparpotenziale von bis zu 20 Prozent. Mit mathematischen Prozessanalysen und -simulationen kann verdeutlicht werden, welche wirtschaftlichen, ökologischen und energetischen Auswirkungen unterschiedliche Prozessdesigns haben. Neben der Steigerung der Energieeffizienz verfolgt die Forschung auch das Ziel, den Anteil an erneuerbaren Energien in der Industrie zu erhöhen.

Der Schwerpunkt liegt jedoch in der Verbesserung von thermischen Prozessen, wie zum Beispiel der Trocknung, der Produktion in der Spezialitätenchemie, der Lebensmittelindustrie und der Landwirtschaft.

Die richtigen Know-how-Träger zusammenbringen

Die energetische und ökologische Prozessoptimierung ist eine Aufgabe für die angewandte Forschung.

Die Gewächshäuser in Steinmaur (ZH) werden anstatt mit Öl mit Holz beheizt. Die Herausforderung für das Prozessdesign bestand darin, trotz der relativ trägen Holzheizung grosse Temperaturschwankungen innerhalb kurzer Zeit auszugleichen und so auf den Wechsel zwischen direkter Sonneneinstrahlung und bewölktem Himmel reagieren zu können. Die Lösung liegt in einer Steuerung des Systems durch Prognosen der Wetterstation Zürich-Kloten, die stündlich abgerufen werden. Die Anlage ist schweizweit die erste dieser Art und bewährt sich seit Anfang 2006 bestens.



Am Anfang steht meist das Anliegen des Industriepartners, erst dann kommt eine Forschungsaktivität in Form von Ingenieurleistungen in der Messtechnik oder der Modellierung von Prozesssystemen hinzu. Entscheidend ist, die richtigen Fachleute aus der Verfahrens- und Energietechnik sowie der Forschung zusammenzubringen.

In der Praxis zeigt sich, dass die konsequente Integration aller Faktoren nur dann umgesetzt wird, wenn daraus ein effektiver wirtschaftlicher Gewinn resultiert. Grund dafür ist, dass

Produktionsprozesse in erster Linie auf Qualität und Ausstoss des Produkts und erst in zweiter Linie auf Energie- und Ökoeffizienz der Verfahren ausgerichtet werden. Ein Hindernis zur Umstellung bilden zudem auch die Zertifizierung der Fertigung und die Sicherheit (Safety).

Verbesserung komplexer Produktionsverfahren

Zuerst analysieren, dann optimieren – ein Grundsatz, der insbesondere bei komplexen thermischen Prozesssystemen von zentraler Bedeutung ist. So wurde beispielsweise die Prozesskette eines Backsteinherstellers untersucht, um ein computergestütztes Optimierungstool zu entwickeln. Dieses sollte eine Prozessführung mit gleich bleibender Qualität aber minimalem Energieeinsatz ermöglichen. Da sich die Analyse und Modellierung des Brennprozesses als komplexer als erwartet erwies, konnte dieses Ziel nicht erreicht werden.

Bessere Ergebnisse zeigte ein Projekt im Bereich der chemischen Industrie. Das von der ETH Zürich erarbeitete Computerprogramm «ecosolvent» trägt zur Verbesserung des Energie- und Ressourceneinsatzes bei, indem es die Beurteilung der beiden Verwertungsverfahren von Abfalllösungsmitteln ermöglicht: Rückgewinnung von Lösungsmitteln durch Destillation oder thermische Verwertung durch Verbrennen. Die Analyse zeigt, dass die Rückgewinnung von Lösungsmitteln aus ökologischer Sicht nicht immer sinnvoller ist.

Gesucht: Energiebewusste Industriepartner

Zu weiteren Fortschritten in der energetischen Prozessoptimierung können vor allem die energieintensiven Branchen beitragen. Indem sie sich der Forschung öffnen und entsprechende Projekte durchführen, können sie ihre Prozesse energieeffizienter und CO₂-ärmer gestalten.

Glossar

Abwärmenutzung

Die nicht vermeidbare Prozessabwärme auf einem tiefen Temperaturniveau (bis 80 °C) kann weiter genutzt werden. Auch dieser Aspekt gehört zur wirtschaftlichen und ökologischen Anlagenoptimierung.

Prozesswärme und -kälte

Prozesswärme wird heute vor allem konventionell mit Öl oder Gas erzeugt, Kälte durch elektromotorische Maschinen. Oft misstrauen Entscheidungsträger der Qualität und Zuverlässigkeit von alternativen Energieerzeugungsanlagen, so dass sie diese nicht konsequent in die Prozesse integrieren. Abhilfe schaffen Machbarkeitsstudien, Laborversuche und Anlagenmessungen.

Immer weniger Energie für immer mehr Komfort

Rund die Hälfte des schweizerischen Energieverbrauchs wird für Gebäude aufgewendet: 30 Prozent entfallen auf Heizung, Raumklima und Warmwasser, 14 Prozent auf Elektrizität und etwa sechs Prozent auf die Herstellung und den Unterhalt. Wohnbauten sind für 27 Prozent des gesamten Energiekonsums der Schweiz verantwortlich. Dabei dominieren die fossilen Energieträger Erdöl und Gas den Verbrauch. Von Gebäuden geht daher eine starke Klimabelastung aus. Die Forschung im Gebäudebereich hat zum Ziel, Technologien zu entwickeln, die diese Belastung reduzieren, und so den Weg zu einem 2000-Watt-kompatiblen Bauwerk Schweiz ebnen. Im Vordergrund stehen die Optimierung ganzer Gebäudesysteme und die Erforschung neuer Materialien und Komponenten.

Sanieren macht sich bezahlt

Für Neubauten steht heute eine Reihe von Technologien zur Verfügung, deren Mehrkosten sich im Rahmen halten, die aber zu einer substantziellen Reduktion des Energieverbrauchs führen. Im Minergie-P-Haus (siehe Glossar) ist Heizenergie kaum noch ein Thema. Aber auch der normale Minergie-Standard (siehe Glossar) oder der Zielwert der SIA-Norm 380/1 ermöglichen das Heizen mit – im Vergleich zu konventionellen Bauten – etwas mehr als der Hälfte der Energie.

Es genügt jedoch nicht, die neuen ökologischen Standards nur bei Neubauten umzusetzen. Ein wichtiges Sparpotenzial liegt in der Sanierung von bestehenden Gebäuden. Hier setzt das vom Parlament beschlossene «Gebäudeprogramm von Bund und Kantonen» an, welches durch finanzielle Beiträge die Sanierung des Gebäudebestands beschleunigen soll. Durch solche Massnahmen, aber auch durch die steigenden Heizölpreise rechnet man im Gebäudebereich mit einem starken Impuls. Eine Aufgabe der Forschung ist es dabei, Konzepte, Technologien und Planungswerkzeuge für die Gebäudesanierung zu entwickeln, die der spezifischen Situation der bestehenden Gebäude gerecht werden (siehe Beispiel).

Heute sind Wissen und erprobte Techniken vorhanden, um in vielen Bereichen die Anforderungen der 2000-Watt-Gesellschaft (siehe Seite 6) zu erfüllen. Um die Wege aufzuzeigen, wie beim Bau den Anforderungen dieser Vision gerecht werden kann, hat der Schweizerische Ingenieur- und Architektenverein (SIA) das Instrument «Effizienzpfad Energie» erstellt und Zielwerte für die Bereiche Raumklima, Warmwasser, Licht und Geräte festgelegt. Ab 2011 werden diese durch die graue Energie und die durch den Standort induzierte Mobilität ergänzt sein.



Licht- und Wärmedurchlässigkeit im Konflikt

Im Bereich Beleuchtung beschäftigt sich die Gebäudeforschung mit den Systemen als Ganzes – zum Beispiel Beleuchtungskonzepte in Kombination mit der optimalen Tageslichtnutzung. Sofern es bei Licht und Geräten um die einzelnen Komponenten geht, werden sie im Forschungsbereich «Elektrizität» (siehe Seite 12) behandelt.

Ein Schwerpunkt des Forschungsbereichs «Energie in Gebäuden» liegt in der Entwicklung von Verglasungen mit optimierter Energie- und Lichttransmission. Die transparente Fassade bleibt dennoch ein Schwachpunkt der Gebäudehülle. Auch die besten Gläser sind heute noch nicht optimal, wenn es darum geht, Tageslicht durchzulassen, Wärmestrahlung jedoch abzuhalten. An der Universität Basel werden neue optische Beschichtungen untersucht, während an der Empa die Vakuumverglasung weiter entwickelt wird. Sie besitzt das Potenzial, die Wärmeleitfähigkeit der besten heute erhältlichen Gläser nochmals zu halbieren.



Gebäudesanierung mit vorgefertigten Bauelementen

Minergie-P-Sanierung eines Mehrfamilienhauses in Zug. Vorgefertigte, hoch isolierende Fassadenelemente ermöglichen heute das effiziente Erneuern und Aufstocken bestehender Gebäude. Die Wärmeverluste können so auf 10 bis 20 Prozent des ursprünglichen Verbrauchs gesenkt werden.

Raumklima: Komfortabel und energiesparend

Energieeffizienz beim Raumklima heisst heute keinesfalls mehr, den Einsatz von Klimaanlage zu verpönen. Auf den Komfort eines gekühlten Raums im Sommer möchte vor allem in Bürogebäuden heute niemand verzichten. Heute wird aber mit so genannter sanfter Kühlung gearbeitet. Der Schlüssel dazu ist die Koordination sämtlicher Faktoren, die einen Einfluss auf die Raumtemperatur haben. Diese Systemoptimierung erlaubt es, das Klima mit geringem Energieeinsatz zu erzeugen. Allerdings bleiben die Qualität der Gebäudehülle, der Sonnenschutz sowie die Raumgeometrie die wichtigsten Einflussfaktoren für den sommerlichen Raumkomfort. Im Winter wiederum kann mit guter Wärmedämmung, einem kontrollierten Lüftungssystem mit Wärmerückgewinnung, sowie der Nutzung von passiver Sonnenenergie Heizenergie gespart werden.

Hochisolationstechnik und neue Kühlanlagen

Neue Materialtechniken sind sowohl im Bereich der Hochisolationstechnik als auch bei Kühlsystemen in der Pipeline – zwar funktionieren sie bereits im Labor, doch ist die Marktreife noch nicht erreicht. Bei den Gebäudehüllen wurden mit Vakuumisolationstechnologien grosse Fortschritte erzielt. Damit sie im Bau eingesetzt werden können, müssen allerdings noch Lösungen für den schadenfreien Einbau und die Halterung gefunden werden.

An der Fachhochschule Yverdon-les-Bains könnte bei Kühlanlagen mit magnetischer Kühlung ein Durchbruch bevorstehen. Wenn dies gelingt, werden schon bald Klimaanlage in Autos und Büros und Kühlchränke ohne FKW-, Ammoniak- oder Kohlendioxid-Kompressoren betrieben, sondern mit Luft oder Wasser direkt magnetisch gekühlt.

Dezentrale Energieproduktion

Gebäude von morgen werden aber nicht nur als Ort des Energieverbrauchs, sondern auch als dezentrale Kraftwerke konzipiert. Dabei wird vor allem an den Einsatz von Photovoltaik und Brennstoffzellen gedacht.

Glossar

Life Cycle Analysis

Die Life Cycle Analysis (LCA) dient der ökologischen und ökonomischen Beurteilung von Materialien, Systemen oder Geräten. Berücksichtigt wird bei Gebäuden nicht nur der Energieverbrauch während der Betriebszeit sondern auch die graue Energie.

Graue Energie

Als graue Energie wird die Energiemenge bezeichnet, die für Gewinnung, Verarbeitung, Lagerung, Transport, Einbau sowie Entsorgung eines Produktes verbraucht wird – im Gegensatz zum direkten Energieverbrauch bei dessen Anwendung.

Minergie

Minergie ist der wichtigste Energiestandard in der Schweiz für Niedrigenergiehäuser. Der Verein Minergie zertifiziert Gebäude nach Anforderungen, die in zwölf Gebäudekategorien verschieden definiert sind. Zurzeit werden etwa 15 Prozent der Neubauten und ein Prozent der Sanierungen in der Schweiz nach Minergie zertifiziert.

Minergie-P-Haus

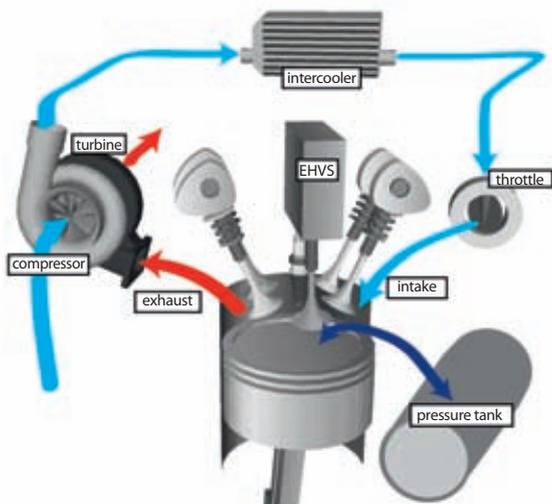
Minergie-P ist ein sehr hoher Energiestandard für Gebäude. Ein Minergie-P-Haus bietet ganzjährig eine angenehme Raumtemperatur ohne den Einsatz einer konventionellen Heizung. Es gibt bereits Wohnhäuser, Büros, Fabriken, Kindergärten, Schulen, Sporthallen und Supermärkte im Minergie-P-Standard.

Fahrzeuge sollen effizienter, leichter und intelligenter werden

Der Verkehr beansprucht in der Schweiz rund einen Drittel des Endenergieverbrauchs; davon entfallen ca. 70 Prozent auf den PW-Verkehr. Trotz deutlich verbesserter Effizienz der Fahrzeugneuflotte bleibt der Energieverbrauch im Verkehr ungefähr konstant. Die Zunahme des Fahrzeuggewichts, der Motorenleistung und der Verkehrsleistung heben die erzielten Fortschritte wieder weitgehend auf. Die Stossrichtung für die Forschung und Entwicklung sind verbesserte resp. neue Antriebe, der Fahrzeugleichtbau, kleine Mobilitätssysteme und Verbesserungen für den öffentlichen Verkehr.

Hohe Anforderungen erfüllen

Moderne Fahrzeuge verkörpern Höchstleistungen bezüglich der Abgasminderung, der Sicherheit und der Zuverlässigkeit. Diese Eigenschaften dürfen durch das verstärkte Augenmerk auf dem Energieverbrauch nicht negativ beeinflusst werden. Der durchschnittliche energetische Wirkungsgrad beträgt bei einem modernen PW weniger als 20 Prozent und der Durchschnittsverbrauch der Fahrzeugneuflotte beträgt 7,43 Liter pro 100 Kilometer (2007). Mit den erforschten Antrieben wird eine Verbesserung des Wirkungsgrads auf deutlich über 20 Prozent angestrebt. Gleichzeitig sollen die Fahrzeuge durch konsequenten Leichtbau, unter Erhalt der Sicherheit, massiv leichter werden. Die künftigen Fahrzeuge sollen einen Verbrauch von unter 3 Litern Benzinäquivalent pro 100 Kilometer aufweisen (langfristiges Ziel).



Prinzipische Skizze eines neuartigen an der ETH Zürich entwickelten pneumatischen Hybrids. An einem Prototyp konnte 2008 ein Treibstoff-Einsparungspotenzial von rund 32 Prozent nachgewiesen werden.

Effiziente Antriebe

Die Schweizer Forschungsprojekte im Bereich Antriebe verfolgen und kombinieren verschiedene Ansätze:

- Downsizing von Verbrennungsmotoren, weitere Verbesserung dieser Motoren und der Getriebe;
- Hybridisierung thermischer Antriebe;
- Erd- und Biogas als Treibstoff, synthetische oder Biotreibstoffe;
- Elektroantrieb mit Batterie und/oder Ultrakondensator und/oder Brennstoffzelle.

Die Reihenfolge der Aufzählung widerspiegelt auch ein Abbild der geschätzten Marktverbreitung. Sämtliche vom BFE unterstützten Vorhaben könnten zumindest teilweise in der Schweiz umgesetzt werden.

Die Fahrzeugmasse beeinflusst den Verbrauch entscheidend

Leichtbau von Fahrzeugen wird durch Material geringer Dichte oder intelligente Konstruktion und Bionik-Simulation erzielt. Die bestehenden Ansätze im Leichtbau werden weiterverfolgt, wobei auch die Aspekte Sicherheit, Fahrzeugkomfort, Verarbeitungszeit und -kosten sowie Materialrecycling zu beachten sind, damit die Projekte erfolgreich industrialisiert werden können. Neben dem Leichtbau werden auch neuartige kleine Mobilitätsmittel erforscht: Diese Fahrzeuge, wie z.B. E-Bikes, ermöglichen einen energieeffizienten und raschen Pendelverkehr und entlasten insbesondere in den Agglomerationen die Umwelt und die Strasse und bestechen durch einen sehr tiefen Energieverbrauch und stark verminderte Emissionen.

Öffentlicher Verkehr

Auch die Systeme des öffentlichen Verkehrs können energetisch stark verbessert und durch Komfortsteigerungen in der für die Verlagerungspolitik vom Individualverkehr zum öffentlichen Verkehr sehr wichtigen Kundenakzeptanz massiv verbessert werden. Die vom BFE geförderte Entwicklung des Busses Light Tram3 Hybrid der Carrosserie Hess AG reduziert beispielsweise den Treibstoffverbrauch um ca. 40 Prozent und senkt die Schadstoffemissionen mindestens um 50 Prozent. Daneben reduziert das System auch die Lärmemissionen wesentlich. Lärm stellt in den heutigen Städten den Hauptstressfaktor dar.

Glossar

Leichtbau von Fahrzeugen

Leichtere Fahrzeuge können durch intelligente Konstruktion, z.B. durch Nachbau der Natur und/oder die Verwendung von Materialien tieferer Dichte hergestellt werden.

Effiziente Antriebe

Der Wirkungsgrad (Tank to Wheel) der heute erhältlichen Personenwagen erstreckt sich von ca. 17 Prozent bei herkömmlichen Fahrzeugen mit Ottomotor über ca. 20 Prozent bei Fahrzeugen mit Dieselmotor bis ca. 25 Prozent bei Hybridfahrzeugen. Modernste Elektrofahrzeuge erzielen wesentlich höhere Wirkungsgrade, weisen aber bedeutende Nachteile bezüglich der Reichweite auf. Gerade hier ist jedoch eine ganzheitliche Betrachtung zu machen, die die Herstellung der Treibstoffe, von Wasserstoff und von Elektrizität mit einschliesst.

Verbesserte Energiespeicherung durch Akkumulatoren

Das Forschungsprogramm *Akkumulatoren und Superkondensatoren* erforscht die Möglichkeiten zur verbesserten elektrochemischen bzw. elektrostatischen Energiespeicherung. Im Fokus stehen die Akkumulatoren oder Sekundärbatterien als elektrochemische und die Super- oder Ultrakondensatoren (S-Caps) als elektrostatische Energiespeicher. Nicht betrachtet werden die nicht wieder aufladbaren Primärbatterien

Programmziele

Die spezifische Energie (Wh/kg) von Akkumulatoren soll von den heute erreichten maximalen 200 kWh/kg langfristig auf 2000 kWh/kg erhöht werden.

Durch reduzierte Innenwiderstände und optimierte Speicherstrukturen sollen die künftigen Speichersysteme

einen elektrochemischen Wirkungsgrad von mindestens 80 bis 90 Prozent, eine Zyklen-Lebensdauer von mindestens 2000 Ladezyklen, eine kalendarische Lebensdauer von wenigstens 7 Jahren erreichen und keine Giftstoffe enthalten. Zudem sollen sie sehr handhabungssicher sein. Solche Akkumulatoren können die Nutzung der erneuerbaren Energie, die selten bedarfs-synchron anfällt, wesentlich unterstützen.

Bei den S-Caps soll die spezifische Energie von heute ca. 10 auf 40 Wh/kg erhöht werden. Die Akkumulatoren helfen, künftig massgeblich erneuerbare Energie zu speichern und Lastspitzen in der Elektrizität abzudecken.

Ansätze

Bei den Akkumulatoren sollen diese Ziele durch die Verwendung der Nanotechnologie erschlossen werden. Im Vordergrund stehen dabei Batterien auf der Basis der leichten Alkalimetalle (Lithium, Natrium), da diese die höchsten spezifischen Energien ermöglichen. Wasserstoff, das kleinste und leichteste chemische Element, verspricht aus dieser Sicht die höchste spezifische Energie.

Bei den S-Caps sollen Verbesserungen u. a. durch eine weitere Erhöhung der spezifischen Oberfläche und durch eine intelligente Beschaltung erreicht werden.

Sicherheit

Zwischen der hohen spezifischen Energie eines Akkus und dessen Tendenz, explosionsartig abzubrennen, besteht eine gewisse Korrelation. Diese mit geeigneten Speicher- und Abschirmtechnologien zu reduzieren, ist ebenfalls ein Ziel des Forschungsprogramms.

Glossar

Akkumulatoren

oder so genannte Sekundärbatterien sind elektrochemische Energiespeicher, die Energie in Form von Gleichstrom abgeben und – im Gegensatz zu den Primärbatterien – wieder aufgeladen werden können.

Super- oder Ultrakondensatoren

sind physikalische Energiespeicher, die die Energie in Form einer elektrostatischen Ladung speichern. Der Entlade- und Ladevorgang erfolgt in ähnlicher Form wie bei den Akkumulatoren.



Beispiel Zebra-Batterie auf der Basis von Natrium-Nickelchlorid: Eine hohe Speicherkapazität verbunden mit einem hohem Wirkungsgrad und einer langen Lebensdauer.

Auftrag: Mehr Effizienz und innovative Technologien

Die Bedeutung der Elektrizität hat zugenommen und wird in Zukunft weiter wachsen. Der steigende Stromkonsum ist nicht nur einer allgemeinen Zunahme des Energieverbrauchs zuzuschreiben, sondern kann auch auf die Substitution anderer Energieträgern durch Elektrizität zurückgeführt werden, beispielsweise auf die Zunahme von Wärmepumpen.

Die Zielsetzung der Forschung im Elektrizitätsbereich ist einerseits die effiziente Nutzung beim Endverbraucher, und andererseits die Entwicklung innovativer Technologien für die Erzeugung, Umwandlung und Speicherung von elektrischer Energie.

Mit höheren Investitionen Geld sparen

Sei es in der Industrie, im Büro oder zu Hause: Fast überall, wo elektrische Maschinen und Geräte angeschafft und betrieben werden, existieren Einsparpotenziale. Eine Zielsetzung der angewandten Forschung ist es, sowohl Herstellern als auch Konsumenten aufzuzeigen, wo diese Einsparpotenziale liegen, und welche Effizienzverbesserungen mit welchen Mitteln möglich sind. Als wenig effiziente Verbraucher erweisen sich

beispielsweise IT- oder Unterhaltungselektronikgeräte im Stand-by-Modus, die Strom verbrauchen ohne eine Leistung zu erbringen. Technisch ist es in der Regel kein Problem, dies zu vermeiden.

In der Industrie gilt besonderes Augenmerk den elektrischen Antrieben. Oft werden bei Neuanschaffungen vor allem die Investitionskosten berücksichtigt, die Betriebskosten aber vernachlässigt. Im Rahmen des Forschungsprogramms werden Instrumente entwickelt, die eine Kostenbetrachtung über den Gesamtlebenszyklus ermöglichen. Damit wird aufgezeigt, welche Motoren über die Gesamtlebensdauer kosteneffizient sind. Die Einkäufer müssen allerdings motiviert werden, die höheren Anschaffungskosten zugunsten tieferer Betriebskosten aufzubringen.

Elektrizität speichern – warum nicht mit Druckluft?

Ein weiteres wichtiges Thema der Energieforschung ist die Speicherung von elektrischer Energie. Dafür eignen sich zum Beispiel Wasserkraftanlagen, die als Pumpspeicherwerk funktionieren. Ein alternatives Prinzip wird bei so genannten Druckluftspeichern angewendet. Die Idee ist einfach: Über einen Motor wird Luft in geeigneten Behältern – zum Beispiel Druckflaschen, wie sie für industrielle Gase verwendet werden – komprimiert. In der umgekehrten Richtung arbeitet dieser Motor als Generator und erzeugt Strom zu einem beliebigen Zeitpunkt. Der Vorteil ist, dass die Energie längere Zeit fast ohne Verluste gelagert werden kann, und die Flaschen relativ mobil und fast überall einsetzbar sind. Die Herausforderung besteht darin, diesen Prozess unter Einbezug der Industrie zu erforschen und zu optimieren.

Wertvolle Abwärme

Noch im Bereich der Grundlagenforschung liegen die Arbeiten mit thermoelektrischen Verfahren: Gesucht werden Materialien, mit denen dank des Seebeck-Effekts (siehe Glossar) aus Wärme direkt Strom gewonnen werden kann – beispielsweise aus Abwärme mit Temperaturen zwischen 80 und 120 °C.

Verlustlose Leiter

Ebenfalls in den Grundlagenbereich fällt die Erforschung der Hochtemperatursupraleitung. Supraleitende Materialien besitzen die Eigenschaft, unterhalb einer bestimmten Temperatur verlustfrei Strom zu leiten. Damit können äusserst effiziente Anwendungen realisiert werden.

Glossar

Motoren

45 Prozent des gesamten Stromverbrauchs der Schweiz entfallen auf Motoren. Es können ohne Komforteinbusse 20 Prozent des Betriebsstroms gespart werden, wenn systematisch die Antriebe selbst und auch der Betrieb optimiert werden.

Seebeck-Effekt

Der Seebeck-Effekt beschreibt die elektrische Spannung, die bei der Erwärmung der Kontaktstelle verschieden gut leitender Materialien entsteht. So kann aus Wärme direkt elektrische Energie gewonnen werden.

«Energie-Challenging» bei der Lonza

Die Walliser Firma Lonza gehört zu den grössten Stromverbrauchern der Schweiz. 94 Prozent des Verbrauchs wird durch Elektromotoren verursacht. Eine Überprüfung der Effizienz der Anlagen hat ergeben, dass bis zu 30 Prozent Energie – und damit bedeutende Kosten – eingespart werden können. Als ein Resultat dieser Abklärungen hat die Firma Lonza eigens die Stelle «Energie-Challenging» geschaffen, um systematisch Stromsparpotenziale zu erschliessen.



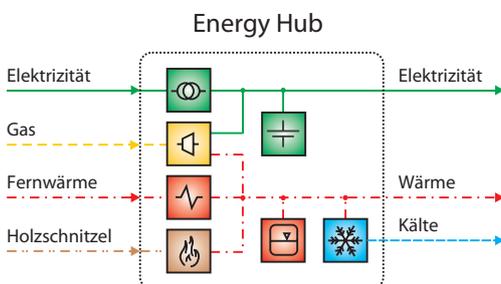
Flexibel, zuverlässig und wirtschaftlich

Zu Beginn des Elektrizitätszeitalters produzierte man den Strom dort, wo er auch genutzt wurde. Im Verlauf der Zeit wurde diese dezentrale, auf kleinen Kraftwerken basierende Struktur vermehrt durch grosse Anlagen und ein zentral organisiertes Stromnetz ersetzt. Heute findet wieder eine Trendumkehr statt. Einerseits werden aus ökologischen Gründen Kleinkraftwerke gefördert, die Strom aus erneuerbaren Energien produzieren, andererseits soll der Stromkonsument in einem geöffneten Strommarkt seinen Produzenten frei wählen können. Mit diesen neuen Entwicklungen steigen die Ansprüche an Elektrizitätsnetze: Das Netz der Zukunft muss Strom aus grossen, zentralen Kraftwerken genauso zuverlässig verteilen können wie aus kleinen, dezentralen Anlagen.

Verbraucher werden aktiv

Leistungsfähige und flexible Netzwerke sind das Rückgrat des Energiesystems der Zukunft. Dabei fliesst der Strom nicht nur vom Produzenten über den Händler zum Verbraucher, sondern auch in die «entgegengesetzte» Richtung, wenn der Verbraucher – z. B. mit einer eigenen Photovoltaik- oder Windenergieanlage – selbst zum Produzenten wird.

An der ETH Zürich wird ein Modell für die zukünftige Energieversorgung entwickelt: Im Netz kommen u.a. so genannte «Energy Hubs» zur Anwendung, die es ermöglichen, die Erzeugung aus einer bestimmten Anzahl dezentraler Energiequellen miteinander zu koppeln. Die verschiedenen Energieformen können im «Energy Hub» ineinander umgewandelt oder auch gespeichert werden, um so eine hohe Versorgungssicherheit und Kosteneffizienz zu gewährleisten. Die Illustration zeigt das Konzept eines «Energy Hubs» mit verschiedenen Energiekonversions- und Speichermöglichkeiten.



Mit mathematischen Modellen und Simulationen werden neue Netzarchitekturen untersucht und Grundlagen entwickelt, um auch bei hoher Flexibilität eine grosse Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit des Elektrizitätsnetzes zu gewährleisten. Berücksichtigt werden neben den technischen und ökologischen Faktoren auch Fragen zur Regulierung des Strommarktes über nationale Grenzen hinaus, um Versorgungsengpässe und Netzüberlastungen zu verhindern.

Intelligente Netze – in Europa und weltweit

In Richtung intelligente Netze zielen sowohl die «European Technology Platform SmartGrids» und das «ERA-Net SmartGrids» der europäischen Kommission, als auch das «Implementing Agreement Enard (Electricity Networks Analysis Research & Development)» der Internationalen Energieagentur (IEA). An diesen Aktivitäten ist die Schweiz aktiv beteiligt, um einen Beitrag zum Netz der Zukunft zu leisten, wo Stromproduzenten, Endverteiler und Stromkonsumenten eng zusammenspielen. Ein wichtiges Schlüsselement ist die intelligente Gestaltung der Netzknotenpunkte, die einen automatischen Informationsaustausch ermöglichen. Energie- und Kommunikationsnetze werden «miteinander verzahnt», um den Netzbetrieb effizienter zu machen und so letztlich Primärenergie zu sparen.

Interessen des Handels versus Versorgungssicherheit

Beim schwierigen und aufwändigen Übergang zwischen alten und neuen Netzstrukturen im Rahmen der Strommarktliberalisierung erweist es sich als besondere Herausforderung, die Versorgungssicherheit mindestens auf dem heutigen Stand zu halten.

Nicht zuletzt muss ein Gleichgewicht zwischen Versorgungsautonomie und -unabhängigkeit und der Wirtschaftlichkeit gefunden werden. Unabhängige «Inselnetze» – so genannte «Micro Grids» – haben den Vorteil, dass sie weniger stark auf weiträumige Netzstörungen reagieren. Andererseits trägt eine möglichst grossflächige Vernetzung dazu bei, grosse Mengen Strom wirtschaftlich zu verteilen und durch Skaleneffekte die Kosten für den Strom zu senken.

Glossar

Multiple Energieträgersysteme

Die Netze der Zukunft transportieren nicht nur Elektrizität, sondern bilden ein komplexes System zur Versorgung mit verschiedenen Energieträgern wie z. B. Strom, Gas und Wärme. An den Schnittstellen zwischen den Netzen wird Energie nicht nur verteilt, sondern auch von einem Energieträger in einen anderen umgewandelt.

Blackout

Eine kurzfristige Überbelastung des Stromnetzes kann zu einem weitreichenden Stromausfall führen wie etwa am 28. September 2003 in Italien. Um solche Pannen zu verhindern, müssen die Stromnetze und ihre Auslastung genau geplant und international koordiniert werden.

SmartGrids und IEA Implementing Agreement Enard

Die EU lancierte 2006 die «European Technology Platform SmartGrids» und in der Folge wurde 2008 das «ERA-Net SmartGrids» ins Leben gerufen. Ausserdem hat die Internationale Energieagentur (IEA) das «Implementing Agreement Enard» lanciert. Eines der Ziele dieser Gremien ist die internationale Koordination der Forschung zwischen Hochschulen, Forschungsinstituten und der Industrie auf dem Gebiet der elektrischen Netze. Die Schweiz wirkt von Beginn an in den drei Gremien aktiv mit.

Strom- und Wärmeproduktion gehören zusammen

Wird beim Erzeugen von Wärme gleichzeitig auch Elektrizität produziert, werden also die beiden Prozesse gekoppelt, resultiert eine bessere Ausnutzung der eingesetzten chemischen Energie. Die Wärme-Kraft-Kopplung (WKK) verbindet die Bereitstellung von Wärme und Strom in einem einzigen, optimal abgestimmten System. Grundsätzlich bietet sie eine breite Anwendungspalette, von der Kleinanlage fürs Einfamilienhaus bis zum Grosskraftwerk mit angeschlossenem Fernwärmenetz. Verschiedene Faktoren haben jedoch eine verbreitete Einführung der WKK-Technik in der Vergangenheit erschwert. Tiefe Preise für fossile Energieträger, erschwerte Stromeinspeisung ins Netz, hohe Investitionskosten für den Wärmeverbund, hohe Unterhaltskosten und tiefe elektrische Wirkungsgrade seien als Gründe erwähnt.

Zahlreiche Technologien und Brennstoffe

Im Hinblick auf eine maximale Effizienz und niedrigste Schadstoffemissionen bietet die Verbindung von WKK und Wärmepumpe eine optimale Lösung bezüglich Wärmenutzung. Aus 100 Prozent eingesetzter Energie in Form von Brennstoff resultieren 150 bis 200 Prozent

Nutzwärme – oder für die gleiche Nutzwärmeerzeugung wird nur die halbe Brennstoffmenge benötigt. Mit den auf Forschungsergebnissen basierenden Wirkungsgradsteigerungen bei Wärmepumpen wird diese Kombination noch interessanter.

Für WKK-Systeme kommen Kolbenmaschinen (Gas- und Dieselmotoren), Gas- und Dampfturbinen, Brennstoffzellen und Stirling-Motoren zum Einsatz. Zahlreiche Anwendungen bestätigen die sinnvolle Nutzung und Effizienzerhöhung durch diese Technologie. Während bisher vor allem fossile Brennstoffe wie Erdöl- und Erdgasprodukte verwendet wurden, wird das in Zukunft nutzbare Spektrum wesentlich breiter, denn erneuerbare Energien werden eine grössere Rolle spielen: Biogas, Klär- und Deponiegas, Abfälle, Holz, geothermische Energie sowie Wasserstoff.

Wärme-Kraft-Kopplung als Entwicklungsschwerpunkt

Die Herausforderungen der Zukunft sind bekannt: Energie muss effizienter verwertet werden und soll dabei weniger Schadstoffe erzeugen. Wesentliche Schritte in diese Richtung stellen einerseits die Wirkungsgradsteigerungen der einzelnen Technologien und Aggregate dar, andererseits bietet die Kombination von Strom- und Wärmeerzeugung in einem System eine aussichtsreiche Lösung zur wirkungsvollen Deckung des Energiebedarfs. Dieses Konzept wird Wärme-Kraft-Kopplung (WKK) genannt und ist seit langem bekannt, jedoch noch wenig genutzt.

Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen zielen darauf hin, die Einsatzmöglichkeiten der WKK in unterschiedliche Richtungen zu erweitern und mit den Veränderungen in anderen Bereichen zu koordinieren. So werden in verschiedenen Forschungsprogrammen einzelne Komponenten und Geräte zur Energienutzung und -umwandlung verbessert, Prozesse

vereinfacht, Emissionen vermindert. Die WKK bringt einzelne Elemente bedarfsgerecht zusammen und optimiert ihren Einsatz.

Verbrennungsforschung befasst sich mit den prozess- und materialtechnischen Fragen von Verbrennungsmotoren. Sie sucht Optimierungslösungen für spezifische Brennstoffe und deren Eigenschaften. Das Programm Kraftwerk 2020 orientiert sich am traditionellen Know-how der Gas- und Dampfturbinentechnik und fördert die anspruchsvollen Forschungsarbeiten zur weiteren Steigerungen des Wirkungsgrads bei gleichzeitiger Kostensenkung. Und mit Arbeiten an der Brennstoffzellentechnologie ergreifen Schweizer Forschende die Chance, einem neuartigen Energiewandler zum Durchbruch zu verhelfen.

Glossar

Wärme-Kraft-Kopplung (WKK)

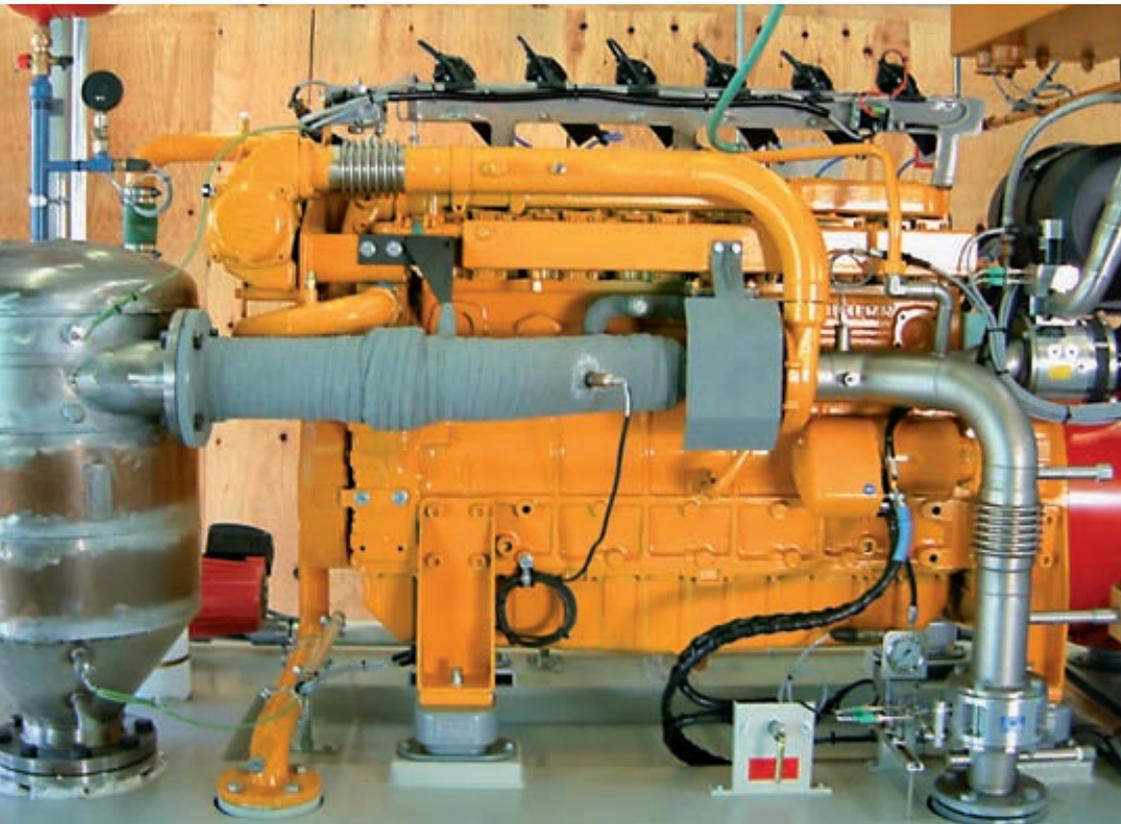
Bei der WKK wird aus chemischer Energie gleichzeitig Arbeit und Nutzwärme erzeugt, wobei man die Arbeit meist in elektrische Energie umwandelt.

Emissionen

Durch die chemische Umsetzung der Brenn- und Treibstoffe entsteht Kohlendioxid (CO₂), Wasserdampf (H₂O), aber auch – allerdings in viel kleineren Mengen – verschiedene Schadstoffe wie Kohlenmonoxid (CO) und Stickstoffoxide (NO_x). Je mehr Kohlenstoff sich in den zu verbrennenden Molekülen befindet, desto mehr CO₂ wird durch die Verbrennungsreaktion gebildet. Deshalb produziert die Verbrennung von Erdgas bei gleich viel produzierter Nutzwärme weniger CO₂ als die Verbrennung von Heizöl.

Effizienz

Die Effizienz (oder der Wirkungsgrad) beschreibt das Verhältnis von nutzbarer Energie aus einem Prozess zur zugeführten Energie. Deshalb sind alle Prozesse, die auch Umgebungswärme in eine nutzbare Energieform transformieren können, effizienter als Prozesse, die dies nicht können. Grosse Diesel- oder Gasmotoren können aus 100 Prozent chemischer Energie ca. 40 bis 45 Prozent elektrische Energie und etwa gleich viel Nutzwärme für die Hausbeheizung erzeugen. Wird mit der produzierten Elektrizität eine Wärmepumpe angetrieben, können 150 bis 200 Prozent Nutzwärme erwartet werden.



Zentrales Element der Wärme-Kraft-Kopplung ist der Verbrennungsmotor, den es bezüglich Wirkungsgrad und Emissionen zu optimieren gilt. Der als WKK-Modul konzipierte Gasmotor mit Abgas-Rückführung stellt einen wichtigen Entwicklungsschritt dar.

Mehr Effizienz und weniger Schadstoffe

Entsprechend der Vielfalt an involvierten Technologien zur Wärme- und Stromerzeugung ist auch die Forschung und Entwicklung breit abgestützt. Während die Wärme-Kraft-Kopplung als Querschnittsprogramm wirkt, befassen sich andere Forschungsprogramme mit spezifischen Fragestellungen und Lösungsansätzen. Gemeinsame Zielsetzung ist die deutliche Steigerung der Effizienz von Komponenten und Gesamtsystemen, sowie die Reduktion der Schadstoffemissionen, welche bei der Verbrennung sowohl Kohlendioxid als auch Stickstoffoxid und Russpartikel betreffen.

Die Zielsetzungen richten sich nach dem jeweiligen Stand der Technik und sind – je nach elektrischer Leistung des Systems – unterschiedlich hoch angesetzt. So werden für Konzepte bis zu einer Leistung von ca. 100 Kilowatt grössere Wirkungsgradverbesserungen und Schadstoffreduktionen angestrebt als bei grösseren Anlagen, da letztere heute schon besser optimiert sind.

Besonders hohe Erwartungen an die Forschung werden bei Systemen für fossile Brennstoffe formuliert, da diese in Zukunft mit Preiserhöhungen, Angebotsverknappung und verschärften Emissionsgrenzwerten konfron-

tiert sein werden. Gezielt setzt man auf die Nutzung erneuerbarer Brennstoffe, bei welchen zunächst auch ein tieferer elektrischer Wirkungsgrad akzeptiert werden soll, aber nicht ein höherer Schadstoffausstoss. Diese Anlagen werden aufgrund der Ressourcensituation eher als kompakte, dezentrale Anlagen eingesetzt, was Fragen zu Stromeinspeisung und Netzstabilität aufwirft.

Kostensenkungen angestrebt

Die Forschung und Entwicklung richtet sich – vor allem auch im Hinblick auf eine stärkere Marktdiffusion von Anlagen im unteren Leistungsbereich – auf eine Erhöhung der Zuverlässigkeit, insbesondere bei Steuerung und Diagnose aus. Um die Investitionshürde zu mindern, werden Massnahmen zur Kostensenkung anvisiert. Dabei sollen auch Betriebs- und Wartungskosten auf ein Minimum reduziert werden. Grössere WKK-Installationen können aber nur erfolgreich nachhaltig betrieben werden, wenn die Wärmenutzung durch Verbundnetze oder angemessene Wärmeabnehmer möglich ist.

Den Flammen auf der Spur

Verbrennungsprozesse haben die Energieversorgung bis heute geprägt, und sie werden auch in Zukunft für zahlreiche Aufgaben massgebend bleiben. Die Forderungen nach hohem Wirkungsgrad, minimalem Schadstoffausstoss und verbesserter Wirtschaftlichkeit bleiben Vorgaben für Forschung und Entwicklung. Das Null-Emissions-System bildet dabei das ultimative Kriterium für den Verbrennungsvorgang. Das Ziel, den CO₂-Ausstoss zu reduzieren, und die gestiegenen Preise für fossile Energieträger erhöhen den Druck zur Optimierung von Verbrennungssystemen und verbessern die Chancen für den Einsatz erneuerbarer Brennstoffe.

Die Anforderungen wachsen

Kontinuität in der Schweizer Verbrennungsforschung hat einen fundierten Kompetenzaufbau ermöglicht. Es besteht eine solide Grundlage für weitere Forschungsarbeiten, um die gestiegenen Anforderungen zur Reduktion der Emissionen sowie zur Erhöhung des Wirkungsgrads von Verbrennungssystemen zu erfüllen. Bis 2020 sollen beispielsweise die durch Dieselmotoren emittierten Stickoxide und der Feinstaub um den Faktor zehn reduziert werden. Um auch die CO₂-Emissionen zu senken, muss zudem der Wirkungsgrad erhöht werden. Innermotorische Massnahmen zur Reduktion der Schadstoffentstehung vermindern in der Regel den Wirkungsgrad und umgekehrt. Um die entsprechend gegensätzlich wirkenden Ziele zu erreichen, ist das Wissen über die komplexen Vorgänge im Verbrennungsprozess weiter zu vertiefen. Wichtige Instrumente dazu sind optische Messverfahren (Laserspektroskopie), computergestützte Berechnungs-

modelle (Modellierungen) und geeignete Versuchseinrichtungen im Labor.

Konzentration und Kontinuität in ausgewählten Themenbereichen sind notwendig, damit relevante Forschungsbeiträge geleistet werden können. In der Vergangenheit wurde dies erfolgreich umgesetzt, indem beispielsweise Institute und Labors mit geeigneten Industriepartnern zusammenwirkten. Sichtbare Ergebnisse sind etwa Sensoren für die Erfassung der Vorgänge im Verbrennungsraum, spezielle Abgasbehandlungsverfahren sowie der SwissMotor, der als Gasmotor in der Leistungsklasse 200 Kilowatt mit einem Wirkungsgrad von über 42 Prozent bei minimalen Emissionen einen Spitzenwert erreicht.

Schwerpunkte der weiteren Verbrennungsforschung

Die Verbrennung muss als chemischer, thermodynamischer und kinetischer Prozess verstanden werden. Das Spektrum reicht von der Brennstoffzufuhr über die Gemischbildung und den Verbrennungsvorgang bis zur Rauchgasentstehung und Nachbehandlung. Mit Versuchseinrichtungen wie Hochdruck-Hochtemperaturzellen, Einhub-Triebwerken oder Schiffsdieselmotor-Versuchszylindern, mit welchen ein wichtiger Beitrag für das Hercules-Projekt¹ des EU-Forschungsrahmenprogramms geleistet wurde, können die Resultate getestet und umgesetzt werden.

Forschungsarbeiten im Bereich der Russbildung und -analyse, der Teilchenbestimmung und der Abkühlvorgänge sind Teil komplexer Berechnungen und Simulationen. Des Weiteren gilt es, im Gebiet der turbulenten Vormischflammen die Wechselwirkung von Turbulenzen und Brennstoffen zu verstehen. Die Resultate werden in Zukunft unter anderem dazu dienen, die Auslegung von Gasturbinen weiter zu verbessern.

Neue Brennstoffe sind im Kommen

Mit dem zunehmenden Einsatz neuer Brennstoffe stellen sich neue wissenschaftliche Fragen. Für bivalente und monovalente Betriebsarten werden Berechnungen, Simulationen und Tests benötigt, um geeignete Optimierungsschritte zu evaluieren.

¹ Bei Schiffsdieselmotoren sollen gasförmige und Feinstaub-Emissionen reduziert, sowie eine stetige Steigerung der Maschineneffizienz und -zuverlässigkeit erreicht werden.

Glossar

Russbildung

Russ besteht vor allem aus Kohlenstoff und weist Teilchengrößen von 10 bis 300 Nanometern auf. Diese Kleinstpartikel bilden ein Gesundheitsrisiko. Russbildung soll daher durch entsprechende Forschungsaktivitäten vermindert werden.

Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad ist das Verhältnis von abgegebener zu zugeführter Leistung. Der Wirkungsgrad wird verwendet, um die Effizienz von Energiewandlungen, aber auch von Energieübertragungen zu beschreiben.

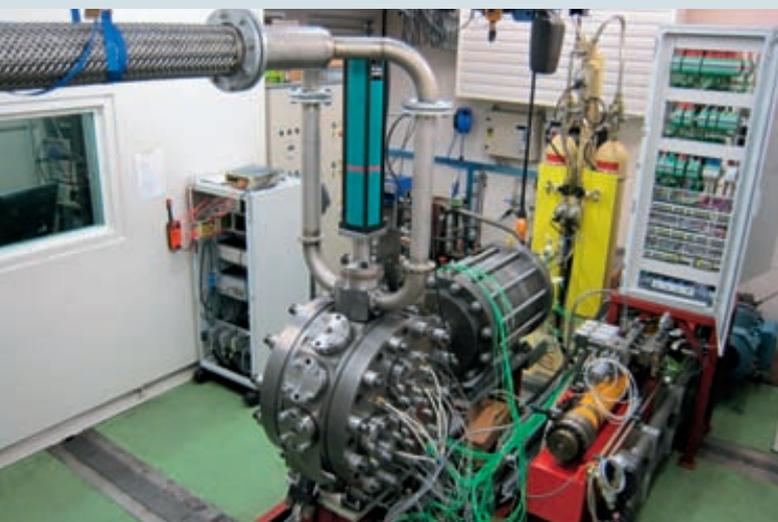
Synthetische Kraftstoffe

Massgeschneiderte Kraftstoffe, deren Bestandteile genau auf die Anforderungen moderner Motorenkonzepte zugeschnitten werden (Designer-Kraftstoffe). Dabei werden verschiedene Verfahren angewendet wie z.B. Biomass-to-Liquid (BtL), Gas-to-Liquid (GtL) etc.

Bivalente und monovalente Betriebsarten

Bivalenter Betrieb bezeichnet den wahlweisen Betrieb eines Aggregates mit zwei verschiedenen Energieträgern, z.B. ein Auto, das wahlweise mit Benzin oder Wasserstoff fahren kann. Dementsprechend ist beim monovalenten Betrieb nur ein Energieträger eingebunden.

Versuchsstand für Verbrennungssysteme grosser 2-Takt-Schiffsdieselmotoren; EU-Projekt Hercules



Verbesserte Grossanlagen werden verlangt

Auch bei der bekannten Gas- und Dampfturbinen-Technologie sind Effizienzsteigerungen möglich. Zudem müssen sie befähigt werden, neben fossilen Brennstoffen auch mit anderen chemischen Energieträgern (z. B. Wasserstoff oder Biogas) betrieben werden zu können. Die Schweizer Industrie soll in Zusammenarbeit mit der Forschung imstande sein, auch 2020 noch die bestmöglichen Anlagen zu planen und herzustellen.

Einbezug der ganzen Prozesskette

Grundsätzlich geht es darum, mit gezielten technischen Massnahmen den elektrischen Wirkungsgrad eines kombinierten Gas- und Dampfturbinenprozesses zu steigern. Dazu gehören beispielsweise Verbesserungen bei Luftverdichter und Turbine, ein reduzierter Kühlluftbedarf und höhere Parameterwerte des Prozesses. Für diese Aufgaben werden unterschiedliche wissenschaftliche Disziplinen einbezogen, wie Aerodynamik, Elektrotechnik, Hochtemperaturmaterialtechnik, Prozesstechnik und Verbrennung.

Durch die Forschungsprojekte zum Thema Kraftwerk 2020 sollen der elektrische Wirkungsgrad eines kombinierten Gas- und Dampfturbinenprozesses gesteigert und der Schadstoffausstoss vermindert werden. Zudem sollen der Prozess zur Speisung mit neuen Brennstoffen angepasst und die Schnittstellen zu den Energienetzen optimiert werden.

Als übergeordnete Aufgabenstellung gilt ferner die Reduktion von CO₂-Emissionen, sei es durch prozesstechnische Änderungen für eine erleichterte Abscheidung und Rückhaltung oder durch vermehrten Einsatz von erneuerbaren, CO₂-neutralen Brennstoffen.

Für den Ausgleich im Stromnetz

Durch die kurze Reaktionszeit von Gasturbinenkraftwerken werden diese auch vermehrt für einen kompensierenden Einsatz bei kurzfristigen Produktionsschwankungen fluktuierender Wind- oder Photovoltaikanlagen genutzt. Deshalb wird auch an verbesserten Techniken für eine Stabilisierung der Stromversorgungsnetze geforscht, womit höhere Lastgradienten (± 3 Prozent Last pro Sekunde) oder eine netzfrequenzunabhängige Betriebsweise ermöglicht werden.

Die Arbeiten zum Kraftwerk 2020 sind international vernetzt mit dem Forschungsrahmenprogramm der EU, der Initiative «Kraftwerk 21» in Deutschland sowie dem «FutureGen»-Programm in den USA.

Den Stromengpass vor Augen

Aufgrund der starken anwendungsorientierten Struktur dieser Forschung spielen neben den wissenschaftlich-technischen Fragen auch die politisch-wirtschaftlichen Rahmenbedingungen eine grosse Rolle. Ferner wird die Gestaltung der Schnittstellen zu den Erdgas-, Elektrizitäts- und Wärmenetzen eine spezielle Herausforderung bei der Umsetzung darstellen.

Die Forschung für Kombi-Kraftwerke mit hoher Effizienz und niedrigem Schadstoffausstoss für die Strom- und Wärmeproduktion ist nicht nur für den Export von Bedeutung. Aufgrund der ab 2020 in der Stromversorgung zu erwartenden Engpässe werden zusätzliche Kraftwerke auch in der Schweiz ein Thema sein.

Glossar

Gas- und Dampfturbinen (GuD)-Kraftwerk

Im GuD-Kraftwerk wird durch die Verbrennung von Gas eine Turbine angetrieben. Die Wärme der Abgase wird zur Erzeugung von Frischdampf genutzt, der eine Dampfturbine antreibt. Beide Turbinen treiben einen Stromgenerator an. Durch diese Kombination des Hochtemperaturprozesses (Gas) mit dem Niedertemperaturprozess (Dampf) werden heute Wirkungsgrade von annähernd 60 Prozent erreicht.



Schweizer Entwicklungen für eine europäische Schlüsseltechnologie

Brennstoffzellen sind Energiewandler, mit denen aus einem chemischen Energieträger mit katalytischer Verbrennung direkt Elektrizität erzeugt wird. Während die Polymer-Elektrolyt-Zelle (PEFC) vor allem Strom liefert, kann die Festoxid-Zelle (SOFC) als Wärme-Kraft-Kopplungsgerät genutzt werden. Dementsprechend vielfältig sind die Anwendungen der Brennstoffzellentechnologie. Die PEFC steht besonders im Mobilitätsbereich im Mittelpunkt, während die SOFC zunächst als stationäre Anlage konzipiert wurde, heute jedoch vermehrt auch für portable Einsätze vorgesehen und realisiert wird.

Am Zellstapel entscheidet sich die Zukunft

Grundsätzlich haben für einen Durchbruch der Technologie drei Forschungsschwerpunkte Priorität: Für einen unterbrechungsfreien Betrieb wird eine hohe Zuverlässigkeit von Zellstapel und Gesamtsystem gefordert. Für die Erhöhung der Lebensdauer des Zellstapels sind die Materialtechnik und die Modellierung entscheidend und aufgrund der Verbesserungen bei Stapel und System lassen sich die Investitionskosten senken. So können die Brennstoffzellensysteme gegenüber den Konkurrenztechnologien Verbrennungsmotor, Heizkessel und Batterie wettbewerbsfähig werden.

Mit Pilot- und Demonstrationsanlagen muss die Praxistauglichkeit und die Wirtschaftlichkeit der entwickel-

ten Konzepte geprüft werden. Es werden zunehmend System- und Prozesstechnik zum Aufbau einer flexiblen, industriellen Zellen- und Stapelfertigung gefördert.

Anwendungen für verschiedene Zeithorizonte

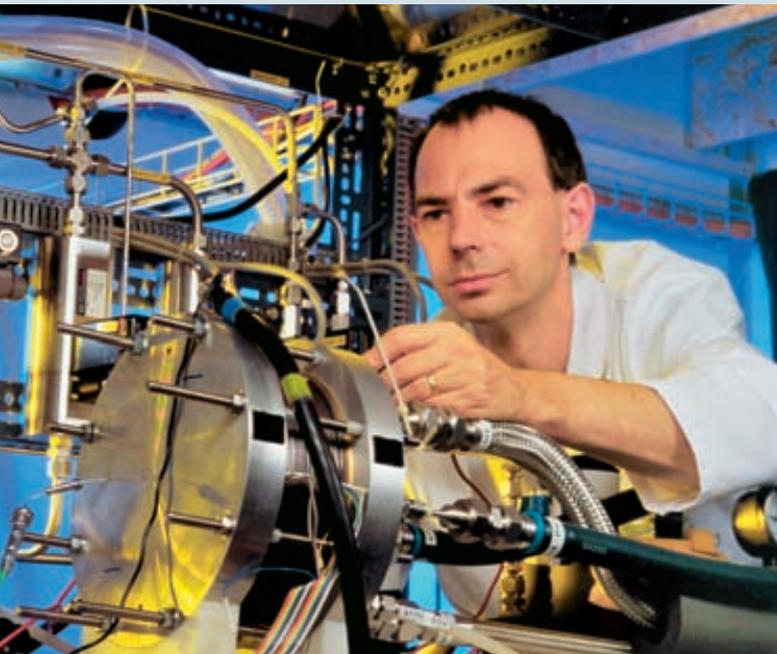
Aufgrund des vorhandenen Brennstoffspektrums für die Brennstoffzelle ist eine stufenweise Einführung der Technologie sinnvoll. Zuerst müssen effiziente fossil betriebene Systeme eingeführt werden. Später werden sie durch Systeme abgelöst, die mit biogenen Energieträgern oder Wasserstoff betrieben werden. Mit dem für die PEFC notwendigen Wasserstoff ergeben sich langfristige Forschungsausrichtungen; bei der SOFC kann demgegenüber über einen internen Umwandlungsprozess auch Erd- oder Biogas eingesetzt werden, was eine raschere Marktumsetzung verspricht.

Forschungskompetenz vernetzen

Die Zusammenarbeit von Forschung und privaten Unternehmen ist von grosser Bedeutung. Bei der PEFC arbeiten beispielsweise das Paul Scherrer Institut (PSI), die Fachhochschule Biel und die Firmen Michelin und Ceka an der Umsetzung. Bei der SOFC treiben die ETH Zürich, die EPF Lausanne, die Empa, die Zürcher Fachhochschule und die Firmen Hexis, HTceramix und Fucellco die Entwicklung voran.

Die internationale Vernetzung ist ein wesentliches Anliegen der Forschungscoordination des BFE. Schweizer Forscher engagieren sich intensiv in Forschungsprojekten der Internationalen Energieagentur (IEA). Die hohe Priorität, welche der Technologie und der internationalen Zusammenarbeit gegeben wird, verdeutlicht insbesondere die Einrichtung einer so genannten Joint Technology Initiative für Wasserstoff und Brennstoffzellen der Europäischen Kommission. Mit vereinten Kräften von Forschung, Wirtschaft und Politik soll Europa weltweit die Führung bei der Entwicklung dieser Technologie einnehmen.

Die Schweiz ist in der Grundlagenforschung, der Systemintegration und der Entwicklung von Gesamtlösungen stark



Glossar

PEFC

Die Polymer Electrolyte Fuel Cell (PEFC) wandelt Wasserstoff und Sauerstoff in Wasser und elektrische Energie um. Als Elektrolyt wird eine feste Polymermembrane eingesetzt. Der Prozess läuft bei niedrigen Temperaturen ab und zeichnet sich durch ein dynamisches Verhalten aus, was die PEFC für die Anwendung im Mobilitätsbereich prädestiniert.

SOFC

Die Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) ist eine Hochtemperatur-Brennstoffzelle, die bei einer Betriebstemperatur von 800 bis 1000 °C betrieben wird. Der Elektrolyt besteht aus einem festen keramischen Werkstoff. Neben der Stromerzeugung spielt hier die Abwärmenutzung beispielsweise für die Gebäudeheizung eine wichtige Rolle.

Joint Technology Initiative der EU für Wasserstoff und Brennstoffzellen

Eine Joint Technology Initiative hat zum Ziel, in wenigen strategisch wichtigen Technologiefeldern der Europäischen Union eine Partnerschaft zwischen der öffentlichen Hand und der Wirtschaft zu bilden. Damit sollen hohe Investitionen der öffentlichen Hand und der Wirtschaft sowie bedeutende Forschungskapazitäten ausgelöst werden, um Europa bei der Entwicklung dieser Technologiefelder weltweit an die Spitze zu bringen.

Wege zur vermehrten Nutzung von Solarwärme

Auffangen, speichern und dem aktuellen Bedarf entsprechend verbrauchen: so könnte man das Prinzip der aktiven Nutzung von solarer Wärme umschreiben (siehe Glossar). Die Anwendungsmöglichkeiten umfassen einen weiten Temperaturbereich: von 25 °C für Raum- oder Schwimmbadheizung, über 100 bis 250 °C für Prozesswärme und bis zu 2000 °C für solarthermische Kraftwerke und Spezialanwendungen.

Das Forschungsprogramm Solarwärme konzentriert sich hauptsächlich auf die Anwendung mit dem mengenmässig grössten Potenzial: die Gewinnung von Niedertemperaturwärme zur Erzeugung von Warmwasser und zur Raumheizung. Diese beiden Anwendungsbereiche beanspruchen etwa 40 Prozent des Energieverbrauchs der Schweiz. Die Kollektortechnologien für Warmwasser- und Heizungsunterstützung haben heute durch die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten der neunziger Jahre einen hohen technischen Standard erreicht.

Die Kosten weiter senken

Noch sind die Gesteungskosten für Solarwärme im Vergleich zu Wärme aus fossilen Brennstoffen hoch: Den 25 bis 35 Rappen pro Kilowattstunde für die üblicherweise bei Einfamilienhäusern eingesetzten Flachkollektoren stehen Einsparungen bei der für die Nutzung von Solarwärme benötigten konventionellen Zusatzenergie von 5 bis 20 Rappen pro kWh gegenüber. Aus diesem Grunde zielen die Bemühungen der aktuellen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf eine Vereinfachung der Systeme hin, um dadurch die Höhe der Anfangsinvestition zu verringern, aber ebenso auf die Verbesserung des Wirkungsgrads (kWh/m² Kollektorfläche). Von besonderem Interesse sind dabei die so genannten Kombisysteme, welche bei Kollektorflächen von 12 bis 20 m² gleichzeitig Warmwasser und Heizwärme für ein Einfamilienhaus liefern, und für welche die

Nachfrage in ganz Europa rasch ansteigt. Solche Systeme können 30 bis 50 Prozent des Wärmebedarfs eines gut geplanten und gut isolierten Einfamilienhauses decken. Längerfristig sind monovalente Solarsysteme anzustreben.

Die Herausforderungen der Zukunft

Da Solaranlagen heute noch in vielen Fällen mit Akzeptanzproblemen konfrontiert sind, besteht im Bereich der architektonischen Integration noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Um diesem Anliegen gerecht zu werden, setzt das Forschungsprogramm Solarwärme einen Schwerpunkt auf neue Technologien und Komponenten für die Anwendung als Gebäudebauelemente.

Auch zeichnet sich bereits heute ab, dass die Nachfrage nach Raumkühlung und der damit einhergehende Stromverbrauch stark zunehmen werden. Da der Kühlungsbedarf hauptsächlich bei starker Sonneneinstrahlung entsteht, ist es nahe liegend, die Solarenergie für die Bedarfsdeckung zu nutzen. In diesem Bereich sollen Lösungen entwickelt werden, die mit elektrisch betriebenen Klimaanlage konkurrieren können.

Verbesserung der Speichertechnologien

Ein wichtiges Forschungsgebiet stellt die Speicherung von Wärme dar. Saisonale Speicherverfahren erlauben die zeitliche Verschiebung von im Sommer gespeicherter Wärme in den folgenden Winter, eine Kurzzeitspeicherung erlaubt die Überbrückung von Schlechtwetterperioden von einigen Tagen. Wärmespeicher sind damit eine Schlüsseltechnologie zur Erreichung eines hohen solaren Deckungsgrades am Wärmebedarf von Gebäuden.

In der Schweiz sind Speichertechnologien vor allem für den Bereich der Einfamilienhäuser entwickelt worden. Die saisonale Wärmespeicherung im Niedertemperaturbereich bei Temperaturen von 5 bis 30 °C im Erdreich (Nutzung mittels Wärmepumpen) wird zwar vereinzelt praktiziert, bedarf aber noch einer breiten Markteinführung. Ein Schwerpunkt ist die Verbesserung des Speicherverhaltens von Wasserspeichern und der Einsatz neuer Materialien. Die Wärmespeicherung auf der Basis von physikalisch-chemischen Prozessen verspricht eine hohe Energiedichte und niedrige Verluste. Ziel ist die völlige Wärmeautonomie eines Gebäudes zu vernünftigen Kosten, indem 100 Prozent des Wärmebedarfs eines solchen Gebäudes durch solare Techniken gedeckt werden.

Glossar

Aktive Nutzung

Bei der aktiven Nutzung von Solarenergie wird Sonnenstrahlung in Wärme oder Strom umgewandelt. Für die Wärmeerzeugung kommen dabei Sonnenkollektoren zum Einsatz, für die Stromerzeugung Photovoltaikzellen (siehe S. 22) oder Hochtemperatursysteme (siehe S. 24)

Passive Nutzung

Bei der passiven Nutzung wird Sonnenenergie durch das Gebäude selbst absorbiert. Diese Nutzungsart gehört daher zur Architektur des Gebäudes und wird im Programm «Energie in Gebäuden» behandelt (siehe S. 10).



Kompaktsysteme zur Warmwassererzeugung und Heizung werden an der Fachhochschule Rapperswil getestet. Die viel versprechenden Ergebnisse zeigen, dass dank kompakter Bauart und abgestimmter Systemtechnik eine deutliche Verbesserung des Solarertrages bei gleichzeitiger Verringerung der Wärmegestehungskosten erreicht wird.

Die Photovoltaik kommt in die industrielle Phase

Die Sonneneinstrahlung als wichtigste Energiequelle der Erde liefert jeden Tag das 10000-fache des gesamten Weltenergieverbrauchs. Die vollständige Umwandlung von nur 0,1 Promille dieser Strahlung in elektrische Energie würde genügen, um unseren heutigen Energieverbrauch abzudecken. Technisch ist eine Umwandlung von solarer in elektrische Energie schon lange möglich: Die erste Solarzelle auf der Basis von kristallinem Silizium (siehe Glossar) wurde durch amerikanische Forscher bereits 1954 entwickelt. Die Grundidee ist die technische Nutzung des photovoltaischen Effekts. Dieser besteht darin, dass gewisse Materialien unter Lichteinstrahlung Elektronen emittieren, eine Energieumwandlung, die ohne bewegliche Teile, ohne Lärm und ohne andere Emissionen vor sich geht.

Industrie mit Zukunft

Bereits heute ist die photovoltaische Energiegewinnung ins industrielle Zeitalter eingetreten. Die Schweiz kann dank ihrer anhaltend hohen Qualität in der Photovoltaikforschung ihre Trümpfe auf diesem neuen Markt ausspielen, welcher im letzten Jahrzehnt weltweit jährliche Wachstumsraten von 30 bis 40 Prozent mit steigender Tendenz aufweist. Gestützt auf Umfragen bei der Schweizer Photovoltaikindustrie wird der Wert der Exporte dieser Branche für 2007 auf mindestens 500 Millionen Franken geschätzt. Berücksichtigt man auch noch den Umsatz im eigenen Land, so erhöht sich der Gesamtumsatz auf mindestens 600 Millionen Franken. Trotzdem liegt in der Photovoltaik noch ein beträchtliches, nicht ausgeschöpftes Potenzial: Die Kosten photovoltaischer Anlagen können noch um einen Faktor 3 bis 4 vermindert werden. Nur so wird diese Technologie wirklich konkurrenzfähig und ihr Einsatz in sehr grossem Massstab möglich.

Prioritäten der angewandten Forschung

Angesichts dieser Tatsachen liegt die wichtigste Aufgabe der Forschung in der Verbesserung bestehender Technologien durch möglichst anwendungsorientierte Projekte. Entsprechend fliessen 90 Prozent der öffentlichen Mittel, welche in der Schweiz der photovoltaische Energieforschung zukommen, in die Verminderung der Anlagekosten. Dies betrifft alle Komponenten: Die photovoltaischen Module, welche zwei Drittel der Anlagekosten ausmachen, sowie die Wechselrichter und die für die Montage benötigten Strukturen usw. Des Weiteren soll auch eine Verbesserung des technischen Wirkungsgrades des Gesamtsystems erreicht werden.

Entwicklung von Zellen der zweiten Generation

Diese Forschungsarbeiten betreffen die Entwicklung von Dünnschichtzellen auf der Basis von Silizium oder

anderen Halbleitermaterialien (siehe Glossar). Die Zellen der zweiten Generation besitzen den Vorteil, dass sie im Vergleich zu Zellen der ersten Generation sehr viel weniger Material und Energie zu ihrer Herstellung benötigen. Die Industrie stellt zurzeit vornehmlich Zellen auf Basis von kristallinem Silizium her, die Dünnschichttechnologie verzeichnet aber jüngst steigende Marktanteile. Das Potenzial liegt in einer höheren Kostenreduktion im Vergleich zu Zellen der ersten Generation. Zusätzlich bieten sie auch den Vorteil eines erweiterten Einsatzes, insbesondere in Hinsicht auf die Anwendung in der Gebäudeintegration. Die aktuellen Forschungsprojekte in diesem Bereich zielen auf eine weitere Verbesserung des Wirkungsgrads der Zellen, auf die Weiterentwicklung der Herstellungsverfahren und auf den Aufbau der erforderlichen Infrastruktur zur Unterstützung der Industriepartner ab.

Die Dünnschichttechnologien erreichen zunehmend den Bereich der industriellen Reife. In etwas paradoxer Weise hilft ihnen dabei der Erfolg der klassischen Technologien auf Basis kristallinen Siliziums: Der rasch ansteigenden Nachfrage sind wegen der ungenügenden Produktionskapazität für kristallines Silizium Grenzen gesetzt.



Enge Zusammenarbeit mit der Industrie

Die Siliziumzellen in Dünnschichttechnik werden hauptsächlich an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Lausanne (EPFL) mit Unterstützung zweier Fachhochschulen entwickelt: Der Fachhochschule ARC in Le Locle (JU) und der Fachhochschule NTB in Buchs (SG). Die EPFL arbeitet zudem an der Entwicklung von Zellen mit Farbstoffen (Grätzel-Zelle). Des Weiteren interessiert sich die Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETHZ) für Solarzellen auf der Basis von Verbindungshalbleitern. Alle diese Forschungsstellen arbeiten eng mit der Industrie zusammen, mehrere erhalten Unterstützung von der Förderagentur für Innovation des Bundes (KTI). Die Projekte sind zudem international gut eingebunden, insbesondere in Projekten der Europäischen Union. Weitere Kompetenzzentren der photovoltaischen Energieforschung in der Schweiz befinden sich an der Fachhochschule der italienischen Schweiz in Lugano (Modulprüfung) und an der Fachhochschule Burgdorf (Wechselrichter und elektrische Systeme). Ergänzende Aktivitäten finden an den Universitäten von Bern (Antennen-Solarzellen) und Genf (Ermittlung der einfallenden Sonnenenergie auf Grund von Meteosat-Daten) sowie am Paul Scherrer Institut in Villigen (PSI, Thermo-photovoltaik) statt.

Die Natur nachahmen

Es zeichnet sich ab, dass Dünnschichtzellen und kristalline Zellen noch lange Zeit koexistieren werden. Dies ist im Wesentlichen der Tatsache zuzuschreiben, dass die Zellen der ersten Generation weiterhin ein erhebliches Verbesserungspotenzial aufweisen, und zwar in den Bereichen des verwendeten Materials, des Wirkungsgrads und der Herstellungsverfahren. Diese Verbesserungen sind in erster Linie eine Aufgabe für die Industrie. Schliesslich zeichnet sich bereits eine Perspektive dreier koexistierender Zellengenerationen ab. Die etwa 10 Prozent der öffentlichen Gelder, welche nicht in die angewandte Forschung investiert werden, fliessen in Projekte der Grundlagenforschung, deren Resultate möglicherweise nach 2020 technisch nutzbar werden könnten. Ziel dieser Projekte ist die Entwicklung einer neuen Generation organischer bzw. polymerer Zellen sowie die Nutzung von Effekten der Nanophysik. Motivation sind die erhofften Vorteile der neuen Materialien wie z.B. geringere Kosten, unbeschränkt verfügbares Ausgangsmaterial und die einfachere Verarbeitung.

Glossar

Zellen der ersten Generation

Die kristallinen Zellen der ersten Generation werden aus Silizium in mono- oder multikristalliner Form hergestellt. Dabei werden die Halbleitereigenschaften von festem Silizium genutzt. Silizium kommt in der Erdkruste im Überfluss vor, man findet es z.B. im Sand oder Quarz in Form seiner Sauerstoffverbindungen (Siliziumoxyd, Silikate). Für die Verwendung als Solar-silizium für die Zellenherstellung muss dieses Material entsprechend aufgearbeitet werden.

Zellen der zweiten Generation

Die Zellen der zweiten Generation bestehen aus dünnen Filmen eines Materials («Dünnschicht»), welches auf einem anderen Material, dem «Substrat», aufgebracht wird. Ziel der Dünnschichttechnologie ist es, mit wesentlich geringerem Material- und Energieeinsatz zu ähnlichen physikalischen Eigenschaften, mehr Flexibilität in der Anwendung und geringeren Kosten zu gelangen. Im Fall photovoltaischer Zellen werden verschiedene Materialien zur Herstellung der dünnen Filme verwendet: Amorphes Silizium und dessen Modifikationen (mikromorphes Silizium) oder die II-VI-Verbindungen des periodischen Systems. Die Trägermaterialien können aus Glas, Metall oder Kunststoff bestehen.



Von der Grundlagenforschung zum marktreifen Produkt: Ursprünglich für die Weltraumforschung entwickelt, wird die Dünnschicht-Solarzellentechnologie zur Herstellung von flexiblen Solarmodulen heute für die breite Anwendung eingesetzt. Ein typisches Beispiel ist die Herstellung eines solaren Ladegeräts für Camping oder andere Anwendungen im Freien. Das Produkt wird durch die Firma VHF Technologies Yverdon zur Marktreife entwickelt; diese Firma ist ein «Spin-off» des Instituts für Mikrotechnik der Universität Neuenburg.

Hochtemperatur-Sonnenenergie

Das Programm «Solare Hochtemperaturprozesse» umfasst die Bereiche der solaren Thermochemie, der Solarwärmenutzung in industriellen Prozessen und der solarthermischen Kraftwerke (Concentrated Solar Power, CSP). Gemeinsam haben diese Prozesse die Nutzung der Sonnenenergie bei hoher Temperatur von ca. 150°C bei industriellen Prozessen bis ca. 2000°C in der Thermochemie. Es geht also um ganz andere Systeme als solare Wassererwärmungs- und Raumheizungsanlagen im Hochbau.



Der dritte in Betrieb genommene Prototyp im Werkareal der AirLight Energy in Biasca. Der konzentrierende Kollektor hat einen linearen Aufbau und beruht auf einem ganz neuen Konzept mit flexiblem, pneumatischem Spiegel. Die Membranen sind an ihrem Rand durch einen einfachen Rahmen aus vorgefertigtem Spannbeton befestigt.

Das Potenzial dieser drei Nutzungsbereiche ist beachtlich. Mit der Thermochemie befasst sich das Paul Scherrer Institut (PSI), und zwar mit der Produktion von Zink mittels des thermochemischen Zyklus ZnO/Zn als Schwerpunkt. Das Ziel des zweiten Bereiches (solare industrielle Prozesse) ist die Entwicklung von Systemen, welche die Integration von Sonnenenergie in konventionelle Produktionsprozesse ermöglichen. Solarthermische Kraftwerke haben ein beachtliches Potenzial für die Stromerzeugung; in den kommenden Jahren wird eine erhebliche Verbreitung dieser Technologie weltweit erwartet.

Stand der Forschung

Bei der solaren Thermochemie steht zurzeit die Grundlagenforschung im Vordergrund. In den nächsten Jahren wird jedoch ein Übergang zur angewandten Forschung stattfinden. In einem ersten Schritt wird ein Prototyp mit 10 Kilowatt (kW) Leistung aufgestellt, gefolgt durch einen 100-kW-Pilotreaktor für die Reduktion von Zinkoxyd.

Im Gegensatz dazu geht es bei der Solarwärmenutzung in industriellen Prozessen und der CSP um angewandte Forschung mit dem Ziel, innovative Lösungsansätze

vorzuschlagen, die technische und wirtschaftliche Umsetzungskriterien erfüllen. Parallel zur öffentlichen Hand sollen dabei private Akteure und die Industrie eine entscheidende Rolle spielen.

Konkrete Anwendungen

Bei der solaren Thermochemie will man längerfristig imstande sein, Sonnenenergie leicht zu speichern und zu transportieren, und zwar als metallisches Zink, welches danach direkt für die Erzeugung von Wasserstoff eingesetzt werden kann.

Die Solarwärmenutzung in industriellen Prozessen zweckt eine Reduktion des CO₂-Ausstosses, welcher mit dem Energieverbrauch in der Schweiz verbunden ist. Grundsätzlich verbindet diese Anwendung Sonnenenergienutzung und Wärmerückgewinnungsprozesse, indem Niedertemperaturabwärme nutzbar gemacht wird.

Zweifellos sind solarthermische Kraftwerke eine Technologie zur erneuerbaren Elektrizitätserzeugung, welche in den kommenden Jahren in den Ländern des Sonnenürtels ein starkes Wachstum erleben wird. Zurzeit befinden sich weltweit 0,68 Gigawatt (GW) MWe in Betrieb und mehr als zwei GW im Bau (bis 2020 wird mit 10 bis 20 GW gerechnet). Was die angewandte Forschung betrifft, bleibt noch einiges zu tun, um bestehende Techniken (System mit Parabolrinnen, lineares Fresnel-Linsensystem, Turmkraftwerk, System mit sogenanntem parabolischem «dish» und Stirlingmotor) sowie alle Kraftwerkkomponenten (Heliostaten, Konzentratoren, Wärmetauscher, Turbinen, Regelung, Technologie der konzentrierten Sonnenstrahlung, Engineering, Software, usw.) zu verbessern.

Glossar

Thermochemische Zyklen

Als langfristige wissenschaftliche Zielsetzung zur Herstellung von Wasserstoff wird der Materialzyklus mit Zink und Zinkoxid untersucht. Dabei dient die Sonnenenergie zur Aufspaltung von Zinkoxid in Zink und Sauerstoff. Das Zinkmetall lässt sich später mit Wasserdampf zu Wasserstoff und zurück in Zinkoxid verwandeln.

Industrielle Solarwärme

Hochwertige Prozessenergie kann durch die Kombination von konzentrierter Sonnenstrahlung und fossilen Energieträgern zwecks Abwärmenutzung oder im Zusammenhang mit einem durchgehend laufenden industriellen Prozess erzeugt werden. So können CO₂-Ausstoss und Energiekosten dank Sonnenenergienutzung reduziert werden.

Solarthermische Elektrizitätserzeugung mit Konzentratoren

Unter allen Technologien in diesem Bereich ist das System mit Parabolrinnen das am meisten versprechende. Mittels Parabolspiegeln wird die Sonnenstrahlung auf ein Rohr gespiegelt und konzentriert, welches entlang der Brennlinie der Parabel platziert ist. Im Rohr wird dadurch die Wärmeträgerflüssigkeit erwärmt. Der so erzeugte Dampf treibt über eine Dampfturbine einen Generator für die Stromerzeugung an.

Mit einer Vision unterwegs

Wasserstoff ist ein Energieträger mit Zukunft. Er scheint prädestiniert zu sein mitzuhelfen, die vielfältige Energienachfrage – insbesondere auch in nachfossiler Zukunft – sicherzustellen. Seine besonderen Vorzüge sind, dass er weltweit aus allen Energiequellen hergestellt werden kann, dass bei seiner Verbrennung nur Wasser entsteht und dass bei seiner Verwendung insgesamt keine CO₂-Emissionen freigesetzt werden, sofern er aus erneuerbaren Energiequellen produziert wird. Die Verwendung von Wasserstoff verspricht generell vielfältige Energielösungen, in erster Linie aus Dringlichkeitsgründen vor allem im Mobilitätsbereich. Doch zunächst sind seine Erzeugung und Speicherung, sein Transport und seine Verteilung Themen für intensive Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen.

Nachhaltige Herstellung und Speicherung gefordert

Mehr als 68 Millionen Tonnen Wasserstoff werden jährlich weltweit produziert. Dies entspricht einem Äquivalent von über vier Prozent der aktuellen Erdölproduktion. Rund 76 Prozent der heutigen Wasserstoffproduktion basieren auf Erdgas, 23 Prozent auf Erdöl und nur ein Prozent stammen aus der Elektrolyse, für die Elektrizität eingesetzt wird. Genutzt werden diese Mengen vor allem in der Petrochemie und der Düngemittelindustrie. Soll Wasserstoff auch bei energetischen Anwendungen eingesetzt werden und dabei einen effektiven Beitrag zur Reduktion der CO₂-Emissionen leisten, so müssen alternative Herstellungsverfahren entwickelt werden. Neben der nuklearen Produktionsvariante stehen verschiedene Möglichkeiten mit erneuerbaren Energien zur Auswahl. Die Schweizer Forschung konzentriert sich seit einiger Zeit auf die Umwandlung von Wasser

zu Wasserstoff, einerseits mittels Strom aus Wasserkraft und andererseits mit Hilfe direkter Sonnenlichtnutzung oder über in Solaröfen produzierte reversible Metalloxide. Im Vordergrund der Forschungsaktivitäten stehen dabei insbesondere Fragen der Materialwissenschaften, die beispielsweise im Bereich der lichtsensitiven Katalysatoren noch ein weites Entdeckungsfeld vor sich haben.

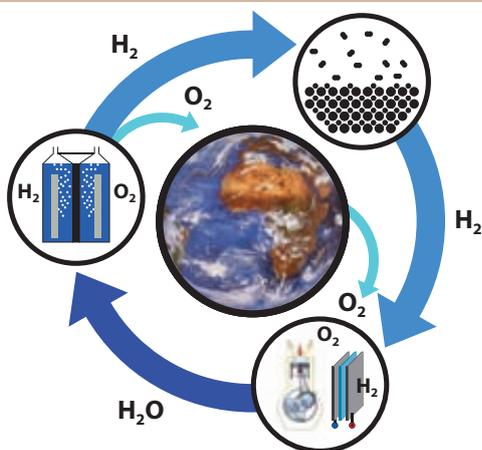
Eine besondere Herausforderung stellt auch die Speicherung von Wasserstoff mit hoher Energiedichte dar, für die möglichst wenig Energie aufgewendet werden sollte. Einen Schwerpunkt der Schweizer Forschungsaktivitäten mit internationaler Kooperation stellen hier die reversiblen Metallhydridspeicher dar, dies im Gegensatz zur konventionellen Gasdruckspeicherung und der kryogenen Flüssigwasserstoffspeicherung.

Der Weg zur Vision braucht einen langen Atem

Als derzeit tragendes und höchst herausforderndes Einsatzgebiet für Wasserstoff steht vor allem die Mobilität, also die Substitution fossiler Treibstoffe, im Vordergrund. In einem Verbrennungsmotor oder einer Niedertemperatur-Brennstoffzelle mit Elektromotor wird Wasserstoff bereits heute in vielen Ländern in Demonstrationsprojekten für die Mobilität genutzt.

Da Wasserstoff seit über einem Jahrhundert ein sehr vertrautes Element sowohl der chemischen, pharmazeutischen und metallurgischen Industrie als auch der Nahrungsmittelindustrie ist, gilt es nun, eine Brücke in die Zukunft der Energietechnik zu bauen, die auf nachhaltig nutzbaren Energieträgern abstützt und umweltverträgliche Stoffkreisläufe schafft.

Die Kompetenz der Schweizer Wasserstoffwirtschaft im Bereich der Wasserstoffherstellung einerseits und die vielfältigen Forschungsarbeiten involvierter Institutionen andererseits fasst die Wasserstoffvereinigung Hydropole (www.hydropole.ch) in einem Schweizer Netzwerk zusammen. Damit steht eine Plattform zur Verfügung, welche die Vernetzung zwischen Hochschulforschung und Industrietätigkeiten sinnvoll unterstützt.



Wasserstoffkreislauf mit Einsatz erneuerbarer Energien.

Glossar

Wasserstoff

Wasserstoff ist das kleinste Element und das leichteste Gas. Er ist Bestandteil des Wassers und der meisten organischen Verbindungen, kommt aber in seiner elementaren Form in der Natur kaum vor. Wasserstoff ist also wie Strom ein sekundärer Energieträger und muss zuerst produziert werden. Dies kann aus allen Energieträgern erfolgen.

Elektrolyse

Bei der Elektrolyse von Wasser (Wasserspaltung) wird zwischen zwei Elektroden eine elektrische Spannung angelegt und damit an der Kathode gasförmiger Wasserstoff erzeugt. Wasser-Elektrolyse-Anlagen stehen weltweit seit hundert Jahren mit einer Leistung von bis zu mehreren Megawatt im Einsatz.

PEC-Tandem-Zelle

Photoelektrochemische Tandem-Zellen (PEC-Zellen) ermöglichen es, Wasser direkt durch Solarbestrahlung und bei Umgebungstemperatur zu spalten. Dabei werden beispielsweise neuartige, kostengünstige lichtempfindliche Dünnschicht-Elektrodenmaterialien wie Eisenoxid («Rost») mit Dünnschicht-Halbleitermaterialien wie Titandioxid kombiniert.

Reversible Metalloxyd-Reaktionen

Geeignete Metalloxyd-Komplexe können als thermochemische Wasserstoffspeichermedien genutzt werden. In einem Kreislaufprozess werden die Metalloxide vorerst bei Temperaturen von über 1200°C thermolytisch oder carbo-thermisch reduziert, um danach bedarfsgerecht und mit Wasser als Wasserstoffquelle in einem Niedertemperaturspaltprozess wieder rückoxidiert zu werden.

Optimale Umwandlung von Energie

Wärmepumpen werden für die Raumheizung und die Warmwasseraufbereitung eingesetzt. Sie können aus Aussenluft, Erd- und Grundwasserwärme oder Abwärme nutzbare Temperaturniveaus erzeugen. Für den Antrieb der Wärmepumpe wird meist elektrischer Strom verwendet. Der Ersatz von Öl- und Gasheizungen durch Wärmepumpen reduziert den Verbrauch fossiler Brennstoffe und die entsprechenden CO₂-Emissionen. Wird die Elektrizität regenerativ mit Wasserkraft, Wind- oder Photovoltaikstrom oder aus Kernenergie erzeugt, ist das CO₂-Reduktionspotenzial besonders gross. Aber auch mit elektrischer Energie aus modernen Kombi-Kraftwerken oder aus Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen können Wärmepumpen betrieben werden. Durch diese Systemkombination reduziert sich der Verbrauch an fossiler Energie und damit der CO₂-Ausstoss um bis zu 50 Prozent.

Mehrere Entwicklungsebenen nutzen

Um möglichst effiziente Systeme realisieren zu können, sind die Aktivitäten der Forschung auf die Verbesserung des Wirkungsgrads (Leistungszahl COP und Jahresarbeitszahl JAZ, siehe Glossar) und einen erweiterten Einsatzbereich ausgerichtet. Hierbei werden verschiedene Ideen verfolgt. Zum einen werden Komponenten laufend verbessert, und zum andern wurden die Testverfahren standardisiert, was zu Qualitätsverbesserungen und zu Hinweisen auf mögliche Optimierungsmassnahmen führt. Mit dem 1994 gestarteten Projekt eines Kompressors mit Zwischeneinspritzung beispielsweise wird seit 2004 ein um 15 Prozent effizienteres Produkt vermarktet. Die Möglichkeiten zur Erhöhung der Wirkungsgrade bei Wärmepumpen sind jedoch noch nicht ausgeschöpft.

Glossar

Wärmepumpe und Kältemaschine

Sowohl Wärmepumpe als auch Kältemaschine «pumpen» Wärme von einem tieferen auf ein höheres Temperaturniveau. Dieser Vorgang benötigt Energie von aussen als Antrieb, denn die Natur würde immer einen Temperaturausgleich anstreben.

COP (Coefficient of Performance)

Dieser Wert beschreibt das Verhältnis von Nutzen zu Aufwand. Im Falle der Wärmepumpe wird die nutzbare Wärme aus der Wärmepumpe im Vergleich zur benötigten Antriebsenergie gesetzt. Die COP-Werte sind abhängig von apparativen Einflüssen, von der Temperatur der zur Verfügung stehenden Wärmequelle und der Temperatur der abzugebenden Wärmeenergie.

JAZ (Jahresarbeitszahl)

Da die COP-Werte abhängig von der Quellen- und der Heizungs-Vorlauftemperatur sind, ergeben sich im Verlaufe eines Winters für die Wärmepumpe unterschiedliche Arbeitsbedingungen. Die Jahresarbeitszahl beschreibt die auf die Heizsaison gemittelte Leistungsfähigkeit, also abgegebene Nutzwärme durch aufgenommene Antriebsenergie.



Der Einsatz von Wärmepumpenanlagen mit Mehrfachnutzungen bietet besondere Vorteile; die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten konzentrieren sich auf weitere Wirkungsgradverbesserungen und optimierte Systemeinbindung. Eine 450-kW-Wärmepumpe bezieht die elektrische Antriebsenergie von einem Gasmotor-Blockheizkraftwerk und bildet ein Element der Energiezentrale für einen grösseren Gebäudekomplex.

Ein weiterer wesentlicher Forschungsgegenstand stellt das in der Wärmepumpe verwendete Arbeitsmittel dar. Dabei stehen die Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit und die Einsatzgrenzen des Systems durch die Verwendungen natürlicher statt synthetischer Stoffe im Mittelpunkt. Mit der Verbesserung der Integration von Wärmepumpen in Gesamtsystemen der Haustechnik konnten bisher den verschiedenen Entwicklungen im Gebäudebereich, hin zu standardisierten und damit auch kostengünstigeren Installationen sowie zur angemesseneren Auslegung bei stärker wärmegeprägten Bauten, entsprochen werden.

Wärme und Kälte auf einen Blick

Neben den einfachen Wärmepumpen für die Raumheizung im Wohnbereich wird der Einsatz von Anlagen mit Mehrfachnutzungen angestrebt: Heizen, Warmwasseraufbereitung, Kühlen, Tiefkühlen, Entfeuchten. Ein relevanter Aspekt ist hier bei der Wärmequelle zu sehen, da die Betriebsdynamik besondere Anforderungen stellt.

Es ist ferner zu beachten, dass die Bedeutung von Kälteenergie – mit apparativ ähnlich gestaltetem Prozess wie bei der Wärmepumpe – in Gewerbe- und Handelsbetrieben gross ist. Der Bedarf an Kälteenergie wird zunehmen, so dass von der Forschung und Entwicklung auch bei Wirkungsgradverbesserungen und Technologien für eine optimierte Abwärmenutzung wichtige Beiträge erwartet werden. Bei den Kälteanwendungen liegt der Schwerpunkt auf Komponentenverbesserung und Systemintegration.

Klein, dezentral – und umweltfreundlich

Als Kleinwasserkraftwerke werden gemäss international gebräuchlicher Definition Anlagen bis 10 Megawatt bezeichnet. Als Motor für die Industrialisierung entstanden solche Anlagen überall an Flussläufen in der ganzen Schweiz. Bei deren Bau war allerdings Umweltschutz noch kein Thema. Mit dem Ausbau der elektrischen Übertragungsnetze wurden dann die meisten kleinen zugunsten grösserer zentraler Anlagen stillgelegt. Heute sollen Kleinwasserkraftwerke wieder gefördert werden, wobei aber die Anliegen des Gewässerschutzes respektiert werden müssen.

Unbekanntes Potenzial der Kleinwasserkraft

Seit 1992 profitieren Anlagen mit einer Leistung bis 1 Megawatt beim Einspeisen der Energie in die Netze von den Fördertarifen des Bundes. Ihre Anzahl hat im letzten Jahrzehnt stetig zugenommen, obwohl immer noch alte Anlagen stillgelegt werden.



Strom aus der Trinkwasserversorgung

Bedingt durch die geografischen Höhenunterschiede verfügen viele Wasserversorgungen über grosse ungenutzte Energiepotenziale. Übermässiger Druck wird heute meistens mit Druckreduzierventilen auf den notwendigen Versorgungsdruck reduziert oder in Druckbrecher-schächten vernichtet. Die Druckreduzierenergie geht dabei als Wärme verloren. Verschiedene Forschungsprojekte befassen sich derzeit mit innovativen Technologien. In der Schweiz gibt es denn auch bereits eine Reihe von Firmen, welche die ganze Produktpalette für Trinkwasserkraftwerke anbieten. Mit Pelton-turbinen, rückwärtslaufenden Pump-turbinen und als Eigenentwicklung der Gegendruck-Pelton-turbine ist es möglich, selbst kleine Energiepotenziale wirtschaftlich zu nutzen.

Betrachtet man die installierte Leistung der Anlagen bis 10 Megawatt, wird deutlich, wie wichtig ihr Beitrag an unsere Stromversorgung schon heute ist: Die über tausend Kraftwerke dieser Kategorie liefern mehr als 3400 Gigawattstunden – das sind gut fünf Prozent der gesamten Stromproduktion der Schweiz.

Es bleibt allerdings noch ein beträchtliches Potenzial unausgeschöpft. Wie gross dieses tatsächlich ist, wird im Rahmen eines Forschungsprojekts untersucht.

Forschung nach möglichst einfachen Maschinen

In technischer Hinsicht sind seitens der Forschung keine Quantensprünge zu erwarten – dazu ist diese Technologie schon zu gut erprobt. Die Forschung – die normalerweise gemeinsam von der Privatwirtschaft und der öffentlichen Hand finanziert und durchgeführt wird – zielt vor allem auf die Optimierung der Systeme, um die Rentabilität der Anlagen zu steigern. Während bei grossen Wasserkraftanlagen eine Steigerung der Leistungsfähigkeit angestrebt wird, müssen Kleinwasserkraftwerke vor allem einfach sein, damit sie kostengünstig installiert werden können. Besonders viel versprechend sind Innovationen im Bereich der Turbinen und im Bereich von geschlossenen Systemen, wie sie bei Trink- und Abwasserkraftwerken (siehe Beispiel) anzutreffen sind. Aber auch alte Traditionen wie beispielsweise die Wasserkraftschnecke werden wiederbelebt.

Umweltschutz und Finanzierungsmodelle

Brach liegende Energiepotenziale können aber nur dann durch Kleinwasserkraftwerken erschlossen werden, wenn dabei keine neuen Umweltbelastungen auftreten. Daher wird auch die Entwicklung von ökologischen Begleitmassnahmen vorangetrieben. Dazu gehören die Optimierung von Fischaufstiegen, Renaturierungsprojekte und Lösungen für die Schwall-, Sunk und Restwasserproblematik. Dabei kann sogar gezeigt werden, dass Kleinwasserkraftwerke, wenn sie richtig geplant werden, Lebensräume aufwerten können. Nicht zuletzt ist auch die finanzielle Machbarkeit ein Thema der Forschung: Finanzierungsmodelle werden geprüft und Best-Practices-Guidelines zuhanden der Betreiber erarbeitet.

Glossar

Rentabilität von kleinen- und grossen Wasserkraftwerken

Die Produktion von Strom aus Wasserkraft ist nicht nur sauber, sondern auch rentabel. Allerdings trifft das besonders für grosse Anlagen zu. Forschungsarbeiten für solche Kraftwerke werden denn auch durch die Privatwirtschaft selbst finanziert. Da Grossanlagen teilweise aus ökologischen Aspekten problematisch sind, sind sie auch politisch oft nicht realisierbar. Kleinwasserkraftwerke hingegen müssen noch weiter vereinfacht und optimiert werden, um die Rentabilitätsschwelle zu erreichen, was oft staatliche Unterstützung erfordert.

Trinkwasserkraftwerke

Zu einem eigentlichen Verkaufsschlager haben sich Trinkwasserkraftwerke (siehe Beispiel) entwickelt. Sie gehören zu den Kleinstkraftwerken und werden in bestehende Wasserversorgungen eingebaut. Die Gesamtköbilanz von solchen Anlagen ist hervorragend und ihr Anwendungspotenzial beträchtlich.

Verbrennen, vergasen, vergären

Biomasse ist ein äusserst flexibler Energieträger. Das Rohmaterial steht in Form von biogenen Abfällen oder nachwachsenden Rohstoffen an vielen Orten zur Verfügung und zahlreiche Umwandlungstechnologien sind bereits heute einsatzbereit. Allerdings ist die Frage, welche Biomasse mit welchem Verfahren zu welchem Energieträger (Strom, Wärme oder Treibstoffe) zu verarbeiten ist, äusserst komplex. Entsprechend sucht die Forschung nicht nur nach effizienten und wirtschaftlichen Lösungen, sondern auch nach einer möglichst umweltschonenden Nutzung.

Mittelfristiges Ziel ist eine Verdoppelung der heutigen Energieproduktion aus Biomasse (heute 53 PJ). Der grösste Anteil der genutzten Biomasse entfällt heute auf den Energieträger Holz. Er weist für die Wärme- und Stromerzeugung ein beachtliches Potenzial auf. Der restliche Anteil besteht vor allem aus der Nutzung von Abfällen und Reststoffen aus der land- und forstwirtschaftlichen Produktion – rund ein Drittel dieses Potenzials in der Schweiz ist bereits ausgeschöpft, wobei die dafür eingesetzten Verfahren und Systeme weiter optimiert werden müssen.



Saubere Stromerzeugung aus Holz: Holzverstromung Nidwalden
Die Reduktion von Partikel- und NO_x-Emissionen bei der Wärme- und Stromerzeugung werden durch die Verbrennung von Holzgas aus einem Holzvergaser erreicht. Das Projekt besteht aus einem Holzkraftwerk mit Schnitzelheizung und Holzverstromung sowie dem Wärmeverbund Rieden/Stans-Oberdorf. In der Anlage wird Alt- und Restholz CO₂-neutral zu Strom und Wärme umgewandelt. Die Anlage erzeugt im Vollausbau 9,1 GWh Wärme und 9 GWh Strom. Die Wärme wird in das Fernwärmenetz eingespeist, der Strom geht als Ökostrom ins Netz. Die maximale Wärmeleistung beträgt 5,3 MW, die maximale Stromleistung 1,36 MW.

Holz

Mit der Verbrennung (später evtl. mit thermischer Vergasung) von trockenen Substraten inkl. Holz kann derzeit die höchste Substitution von fossilen Energien durch Biomasse erreicht werden. Heizöl und Erdgas in Heizanlagen können praktisch zu 100 Prozent ersetzt werden. Ziel ist die Entwicklung von Gesamtanlagen mit hohem Nutzungsgrad, vollständigem Ausbrand des Brennstoffs bei möglichst geringen Emissionen und tiefen Investitions- und Betriebskosten.

Durch den Prozess der Vergasung wird höherwertige Energie produziert, da die weitere Energienutzung flexibel ist (Strom, Treibstoffe). Bestehende Anlagen sollen begleitet, Betriebsdaten inkl. Kosten erhoben und die Technologie verbessert werden, um einen höheren Wirkungsgrad zu erreichen.

Luftbelastung durch Stubenöfen

In den nächsten zehn bis 15 Jahren soll die Energieholznutzung in der Schweiz verdoppelt werden, ohne eine zusätzliche Luftbelastung zu verursachen. Ein wichtiger Teil der Forschung ist daher den Feinstaubpartikeln gewidmet. Offene Fragen bestehen bezüglich der Entstehung der Partikel, ihrer Grösse, ihrer Anzahl und ihrer Schädlichkeit. Die Feinstaubproblematik gilt es sowohl durch die Verbesserung der Verbrennungstechnik, als auch durch den Einsatz von Partikelabscheidern zu lösen. Bei Grossanlagen werden bereits heute wirksame und kostengünstige Elektrofilter eingesetzt. Schwierigkeiten machen hingegen Feuerungen unter 70 Kilowatt Leistung, zu denen auch die zahlreichen Stubenöfen und Cheminées gehören.

Effiziente und qualitätsgeprüfte Feuerungen

Die Systeme sollen so optimiert werden, dass günstige und saubere Öfen mit hoher Effizienz und niedrigen Emissionen auf dem Markt angeboten werden können. Den Herstellern sollen entsprechende Handlungsanweisungen zur Verfügung gestellt werden. Ein Qualitätslabel soll Klarheit für die Konsumenten schaffen.

Fernwärme und Strom aus Schnitzelfeuerungen

Besonders gute Wirkungsgrade lassen sich bei grösseren Anlagen erzielen, die gleichzeitig Fernwärmenetze speisen und Strom erzeugen. Hier gilt es einerseits, bestehende Systeme zu optimieren, und andererseits neue Wege zu finden, um die Emissionen einzudämmen.

Übrige Biomasse

Die übrige Biomasse wird z. B. über anaerobe Vergärung energetisch genutzt. Ziel sind die Optimierung der bestehenden Verfahren (Energieeffizienz, Reduktion von Emissionen) und Massnahmen zur Qualitätssicherung.

Energiebauern produzieren Wärme und Strom

In der Landwirtschaft liegt noch ein grosses Energiepotenzial brach. Der «Energiebauer», der auf seinem Hof auch Wärme und Strom produziert, ist keine Vision mehr. Dabei denkt man nicht so sehr an den Anbau von Energiepflanzen im grossen Stil, sondern vielmehr an die Vergärung von Ernterückständen und Hofdünger in der

gekoppelten Strom- und Wärmeproduktion. Technisch ist dies bereits möglich, doch es besteht noch Verbesserungs- und Multiplikationspotenzial.

Eine noch ungelöste Frage ist beispielsweise, was mit dem grossen Wärmeanteil – 50 bis 60 Prozent – geschehen soll. Im Winter kann dieser im Hof zum Heizen verwendet werden. Doch im Sommer? Eine Antwort ist die Suche nach Systemen, die solche Synergien gezielt nutzen – beispielsweise durch die Verbindung mit Trocknungsanlagen oder zum Heizen einer Pouletmast auf die dafür erforderlichen 33 °C.

Stoffkreislauf schliessen

Die Energieforschung im Bereich der Biomasse beinhaltet immer auch die Frage der Nachhaltigkeit. Nicht nur die technische Machbarkeit und der Wirkungsgrad der Prozesse sind ausschlaggebend für die Bewertung einer Technologie, sie muss auch aus ökologischer Sicht sinnvoll und von der Bevölkerung akzeptiert sein. Unter anderem ist dies der Grund, weshalb die schweizerische Energieforschung gegenüber der flächendeckenden, intensiven Kultivierung von Energiepflanzen zurückhaltend ist. Ein besonderes Ziel des Forschungsprogramms Biomasse ist es, die Stoffkreisläufe zu schliessen. Wertvolle Nährstoffe sollen nicht verloren gehen, sondern wieder der Produktionskette zur Verfügung gestellt werden. Bei der Gasaufbereitung zur Einspeisung von Biogas ins Erdgasnetz gilt es, Methanverluste zu minimieren bzw. zu eliminieren und die Ammoniakemissionen zu reduzieren.

Treibstoffe aus Energiepflanzen

Auch wenn die Schweiz kaum je in grossem Stil Energiepflanzen zur Treibstoffgewinnung anbauen wird, sind biogene Treibstoffe ein Forschungsthema. Technologien und Know-how können auf diese Weise exportiert und dafür Biotreibstoffe importiert werden. Forschungsbedarf besteht hinsichtlich der Verbesserung der Anlagen zur Vergasung, aber auch betreffend der Einspeisung des Biogases ins Erdgasnetz und bei der Ökobilanz von verschiedenen Treibstoffen aus Biomasse gibt es weitere offene Fragen.



Am Paul Scherrer Institut in Villigen wird die katalytische hydrothermale Vergasung von Biomasse in einer kontinuierlichen Laboranlage mit einem Durchsatz von 1 kg/h untersucht. Typische Betriebsbedingungen sind 400 °C und 30 MPa.

Glossar

Partikel- und Stickoxid-Emissionen

Im Gegensatz zu Öl und Gas entstehen durch die Nutzung von Holzenergie keine zusätzlichen CO₂-Emissionen. Belastend ist hingegen der Stickoxid (NO_x)- und Partikelausstoss. Feuerungssysteme – gerade auch Stubenöfen – sind daher so zu optimieren, dass diese Belastungen möglichst gering ausfallen.

Nutzholz

In Schweizer Wäldern wachsen pro Jahr rund 8 bis 10 Millionen m³ Holz nach. Davon wurden im Jahr 2007 rund 6,4 Mio. m³ genutzt. Inklusive Import-/Exportbilanz beträgt der Holzverbrauch der Schweiz jährlich rund 7 Millionen m³.

Energieholz

Energieholz fällt in verschiedenen Formen an: als naturbelassenes Waldholz, als Restholz aus der holzverarbeitenden Industrie oder als Altholz am Schluss des Lebenszyklus. Der Energieholzverbrauch liegt heute bei rund 3 Millionen m³ pro Jahr. Dem steht – ohne die Schweizer Wälder zu übernutzen – ein Potenzial von etwa 5 Millionen m³ pro Jahr gegenüber.

Biogene Abfälle und Reststoffe aus der land- und forstwirtschaftlichen Produktion

Für die Energieproduktion können biogene Abfälle und Reststoffe aus zahlreichen Betrieben genutzt werden: Landwirtschaft (Ernterückstände und Hofdünger), Holzwirtschaft, Industrie und Gastronomie, Haushalte, Abwasserreinigungsanlagen und Schlachthöfe.

Nachwachsende Rohstoffe

Zu den nachwachsenden Rohstoffen, die zur Energieproduktion eingesetzt werden können, gehören neben Holz auch diverse Faserpflanzen (Gras, Hanf, Flachs), Ölsaaten (Raps, Sonnenblumen) sowie Getreide («Energiekorn»), Zuckerrüben und Kartoffeln.

Wärme und Strom aus der Tiefe

Fast ausnahmslos nimmt die Temperatur des Gesteins mit der Tiefe zu; in der Schweiz im Schnitt mit 30°C pro Kilometer Tiefe. Die Geothermie nutzt einerseits die Wärme relativ geringer Temperatur in Erdschichten nahe der Oberfläche, andererseits die hoher Temperaturen in grosser Tiefe. Pilotprojekte, welche Wärme aus dieser Tiefe zur Stromerzeugung nutzen, versprechen aber Grosses: Sollte sich diese Technologie als wirtschaftlich machbar erweisen, könnte längerfristig ein wesentlicher Teil unseres Strombedarfs mit dieser Ressource abgedeckt werden.

Oberflächliche Erdwärme zum Heizen und Kühlen

Die Technik zur Nutzung dieser Wärme zum Heizen – so genannte mit Wärmepumpen gekoppelte Erdwärmesondenanlagen (EWS) – ist ausgereift und kann an vielen Standorten eingesetzt werden. In den Kellern von kleinen und mittleren Gebäuden stehen bereits Tausende solcher Systeme in Betrieb und ersetzen dort die Ölheizungen. Die Konkurrenzsituation der kommerziellen Anbieter schafft Anreize zur Verbesserung der Effizienz und zur Senkung der Kosten. Forschungsbedarf besteht aber noch bei der Auslegung und beim Betrieb von komplexen EWS-Anlagen, die neben dem Heizen

auch zum Kühlen von Gebäuden eingesetzt werden können, sowie bei der Entwicklung neuer Sondenfluide, und der Entwicklung von Instrumenten zur Qualitätssicherung in der Planung und der Ausführung.

Fassung von heissen Quellen und Tunnelwassern

Für die Schweiz wichtige geothermische Ressourcen sind hydrothermale Warm- und Heisswasserquellen. Bei Tunnelwassern bis 30°C und bei warmen Quellen von geringer Temperatur kann das Wasser zum Heizen genutzt werden. Bei sehr heissen Quellen von 80 bis 130°C –

wie sie beispielsweise an der Basis des Molasse-Beckens des Unter- und Mittelandes oder im Wallis und in der Waadt wahrscheinlich sind – wird auch die Stromerzeugung aus Niedertemperaturwärme (siehe Stichwort) ein Thema. Die Erschliessung von hydrothermalen Quellen ist allerdings immer mit Risiken behaftet: Ergiebigkeit und Temperatur der Quellen sind nur begrenzt vorhersagbar.

Durchlauferhitzer in 5000 Metern Tiefe

Das grösste Potenzial für quasi CO₂-freie Stromerzeugung steckt in der Erschliessung von Wärmereservoirs ab 150°C in grossen Tiefen durch so genannte Enhanced Geothermal Systems (EGS). Kontinuierlich stattfindende technische und ökonomische Verbesserungen werden in Zukunft diese Mindesttemperaturen absenken. Diese Reservoirs haben kein oder wenig natürliches Heisswasser und müssen daher mit ingenieurwissenschaftlichen Massnahmen erschlossen werden. Ein EGS besteht aus mindestens zwei rund 5000 Meter tiefen Bohrungen in einem Abstand von einigen hundert Metern. Durch die eine Bohrung wird das Wasser hinuntergepumpt, durch die andere wieder heraufgeholt. Das Wasser zirkuliert zwischen den beiden Bohrlöchern in künstlich erweiterten, natürlichen Gesteinsspalten und erhitzt sich dabei. Forschungsbedarf besteht vor allem zu den Fragen der Schaffung und Bewirtschaftung des Tiefenreservoirs vor allem unter Berücksichtigung von Risiken und Erdbeben, sowie zur Umwandlung von Niedertemperaturwärme in Strom. Die Schweizer Geothermieforschung ist sowohl an einem internationalen Forschungsprojekt im Elsass (Soulz-sous-Fôrets) beteiligt, als auch mit erforderlichen Nachmessungen an dem von den lokalen Entscheidungsträgern gestoppten Pilotprojekts in Basel – dem Deep Heat Mining – aktiv.

Im Winter 2009/10 bohrte das Zürcher Versorgungsunternehmen ewz in rund 2700 m Tiefe, um den Zürcher Untergrund zu erforschen und im Idealfall Heisswasservorkommen zu nutzen. Das Bohrprojekt lieferte viele erdwissenschaftliche Daten, fand jedoch keine mächtigen Heisswasservorkommen. Die Daten werden nun genutzt, um das Geothermie-Potenzial der Region Zürich besser abschätzen zu können.

Glossar

Niedertemperaturkraftwerk

Heisses Wasser aus hydrothermalen Quellen (ab 80 bis 100°C) bietet ein signifikantes Potenzial zur CO₂-freien Stromerzeugung. Doch um diese Ressourcen optimal zu nutzen, muss das Fündigkeitsrisiko vermindert werden und die Umwandlungstechnologie optimiert werden. Eine besondere Herausforderung ist die Stromerzeugung aus heissem Wasser mit relativ niedrigen Temperaturen von rund 80°C.

Tiefengeothermie

Hot Dry Rock (HDR) – Hot Fractured Rock (HFR) – Enhanced Geothermal System (EGS) – stimulierte geothermische Systeme (SGS) – Petrathemiale Geothermie: Die fünf Begriffe werden weit gehend synonym verwendet und bezeichnen Systeme zur Erschliessung von Wärme in tiefen Gesteinsschichten (heute bis zu 7000 m Tiefe).



Rückenwind für schweizerisches Know-how

Heute sind ausgereifte Windkraftanlagen für den Betrieb unter Standardbedingungen auf dem Markt. Mit Wachstumsraten von jährlich 30 Prozent erlebt die Branche weltweit einen anhaltenden Boom, der das grosse Potenzial der Windenergie widerspiegelt. In den vergangenen Jahren sind die Preise von Windkraftanlagen um über 20 Prozent gestiegen und aufgrund von Engpässen bei Rohmaterialien sind zudem Lieferzeiten von über zwei Jahren an der Tagesordnung.

Fundierte Untersuchungen zeigen, dass es auch in der Schweiz eine Vielzahl von Standorten gibt, die für die Stromproduktion mit Windkraft geeignet sind und deren Energieausbeute durchaus mit den Verhältnissen in klassischen Windenergieländern vergleichbar ist. Forschung und Entwicklung im Bereich der Windenergie fokussieren einerseits auf die für Schweizer Verhältnisse (Vereisung, turbulente Winde, Akzeptanz) sowie auf angepassten Komponenten und Anlagenkonzepte. Andererseits sind Schweizer Firmen mit Kunststoffen, Sensoren sowie Elektro- und Maschinenbauteilen auch als Zulieferer auf dem Windenergie-Weltmarkt präsent.

Kernkompetenz: Windenergie im kalten Klima und im Gebirge

Mit vielfältigen Forschungsvorhaben wird das Wissen und das Know-how für die Nutzung von Windenergie unter spezifisch schweizerischen Verhältnissen weiter vertieft:

- Entwickeln von Anlagekomponenten (Sensorik, Na-

Der Teststandort auf dem Gütsch bei Andermatt (2332 Meter über Meer) wird im Rahmen von nationalen und internationalen Programmen zur Forschung an Windkraftanlagen und meteorologischen Messgeräten in kaltem Klima genutzt. Der Standort erlaubt, Erfahrungen hinsichtlich der Konstruktion und des Betriebs von Anlagen in gebirgigen oder arktischen Verhältnissen zu sammeln. Ziel ist es, nicht vereisende Materialien zu finden und vereisende Wetterbedingungen vorhersagen zu können.



notechnologie, Leistungselektronik) durch die einheimische Industrie;

- Erhöhung der Verfügbarkeit und des Energieertrages von Windkraftanlagen an extremen Standorten (Klima, Turbulenzen, Logistik);
- Erhöhung des «Wertes» der Windenergie, Optimierung der Integration von Windkraftanlagen in die Stromversorgung (Forecasting, Regelenergie);
- Erhöhung der Akzeptanz für Windenergie unter Einbezug sozial- und umweltwissenschaftlicher Kompetenz und damit Verkürzung der Projektrealisierungsdauer.

Ergänzend sollen mit Pilot- und Demonstrationsprojekten die nicht technischen Hemmnisse zur stärkeren Marktdurchdringung der Windenergie reduziert und die Lücke zwischen eigentlichen Forschungsaktivitäten und der Anwendung in der Praxis geschlossen werden.

Internationale Zusammenarbeit

Auf dem Gütsch bei Andermatt werden die Auswirkungen von Eis und Schnee auf die dortige Windkraftanlage untersucht. Ziel ist es, die Vereisung der Rotorblätter zu verhindern und damit die Energieproduktion zu steigern. Diese Untersuchungen stossen international auf grosses Interesse, da sich zahlreiche Windkraftstandorte in kalten Klimaregionen befinden.

Neben den tiefen Temperaturen sind die hohen Turbulenzen des Windes eine besondere Herausforderung für die Planung und den Betrieb von Windkraftanlagen. In der Schweiz wird darum Know-how für die Beurteilung von komplexen Standorten aufgebaut.

Soziale Faktoren berücksichtigen

Ein weiteres Feld der aktuellen Forschung sind gesellschaftliche und wirtschaftliche Fragen, die sich als Hindernisse für den Einsatz der Windenergie erweisen. Die drei Bundesämter für Energie, Umwelt und Raumentwicklung haben gemeinsam mit den Kantonen, den Umweltorganisationen und der Energiewirtschaft ein *Konzept Windenergie Schweiz* erarbeitet. Darin sind Kriterien für die Standortwahl für Windparks in der Schweiz definiert (siehe Glossar). Dieses Konzept dient heute den Kantonen als Grundlage für ihre Richtplanung und gibt Hinweise auf potenzielle Standorte.

Glossar

Akzeptanz

Nicht nur die Windverhältnisse, sondern auch Fragen der Infrastruktur und des Landschaftsschutzes sind entscheidend für die Standortwahl. Das *Konzept Windenergie Schweiz* hat Grundsätze und Kriterien für die Standortwahl von Windparks festgelegt, welche nun durch die Kantone im Rahmen ihrer Richtplanung definiert werden.

Nowcasting

Windenergie fällt unregelmässig an. Für eine optimale Netzbewirtschaftung braucht es Regelenergie – zum Beispiel Wasserkraft – und für die optimale Nutzung der Windenergie eine möglichst zuverlässige Wetterprognose für die unmittelbar bevorstehenden Stunden – Fore- und Nowcasting genannt.

Nanobeschichtungen für Rotorblätter

Durch die Entwicklung von synthetischen Beschichtungen der Rotorblattoberfläche mit gefrierpunktniedrigenden Eigenschaften, analog zu Anti-freeze-Proteinen in der Natur könnte eine kostengünstige Möglichkeit zur Reduzierung der negativen Einflüsse durch Eisbildung beim Betrieb von Windkraftanlagen erreicht werden.

Mit neuen Reaktorkonzepten Potenziale erweitern

Kernenergie wird seit Jahrzehnten in der Schweiz für die CO₂-freie Stromproduktion genutzt und zeichnet sich durch hohe Betriebssicherheit aus. Zusammen mit der Wasserkraft bringt diese Technik die Schweiz in den kleinen Kreis der Länder, deren Strom fast CO₂-frei produziert wird. Sie ist mit Blick auf die gegenwärtigen politischen Rahmenbedingungen eine wichtige Option für eine sichere, ökonomische und langfristig gewährleistete Energieversorgung. Entsprechend dieser Tatsache fokussiert sich die Forschung nicht nur auf bestehende Anlagen, sondern verfolgt auch die Trends in der modernen Nukleartechnik.

Kontinuität in Ausbildung und Forschung

Forschungsarbeiten im Bereich der Kernspaltung werden fast ausschliesslich am Paul Scherrer Institut (PSI) durchgeführt, während die Ausbildung durch die Eidg. Technischen Hochschulen betreut wird: mit Professuren in Reaktorphysik und Systemverhalten an der ETH Lausanne (EPFL) und für nukleare Energiesysteme an der ETH Zürich (ETHZ).

Das PSI liefert vor allem Beiträge zum sicheren und wirtschaftlichen Betrieb der Kernkraftwerke in der Schweiz. Betreiber von Kraftwerken und die Sicherheitsbehörde werden mit Analysen und vor allem auch mit Untersuchungen im Hotlabor unterstützt. Das «Human Reliability Analysis»-Projekt geht Personalhandlungen nach und bezieht sie in Simulationsmodelle ein. Künftig rücken zudem grundsätzliche Fragen zum Verständnis von Phänomenen des Reaktorbetriebs in den Vordergrund. Mit dem Projekt *Stars* haben die Forschenden beispielsweise detaillierte Analysen des transienten Verhaltens der Schweizer Kernkraftwerke während Reaktivitäts- und Kühlmittelverluststörfällen erarbeitet. In Zukunft werden die bisherigen Betrachtungen des Kernbrennstoffs mit der Modellierung des Uranoxids auf Molekularebene ergänzt und abgesichert.

Forschungsreaktor für neue Konzepte vorbereitet

Der Nulleistungsreaktor Proteus des PSI dient im Bereich der Reaktorphysik zur Validierung von Rechencodes für ausgeklügelte Kernkonfigurationen und für stark abgebrannte Brennstoffe, die eine hohe Uranausnutzung ermöglichen. Während bisher kleine Teile einzelner, hoch abgebrannter Brennstäbe untersucht wurden, sollen nun komplette, abgebrannte Brennelemente gemessen werden. Im Rahmen des Projekts *Life@Proteus* (2008 bis 2012) will man experimentell Daten gewinnen, um die Berechnungsqualität wichtiger Reaktorphysik-Parameter zu sichern. Die Proteus-Anlage wird daher so modifiziert, dass man den stark radioaktiven Brennstoff sicher handhaben kann. Parallel wird die Anlagensicherheit dank Digitalisierung des Steuersystems und Verstärkung des Gebäudes erhöht. So werden die technischen Voraussetzungen geschaffen, damit Forschungsarbeiten für zukünftige Reaktorkonzepte noch lange Zeit optimal ausgeführt werden können.

Mitarbeit bei künftigen Kernreaktoren

Am *Generation IV International Forum* werden mit Schweizer Beteiligung Themen der langfristigen Entwicklung der Kernenergie behandelt. Das PSI verfügt für die Untersuchungen der verschiedenen Reaktorkonzepte bzw. Kühlmedien sowohl über die wissenschaftlichen Kompetenzen als auch über geeignete Infrastrukturen und Testanlagen. So wer-

Kernenergie

Forschungsaktivitäten im Bereich Kernenergie decken ein breites Themenspektrum ab. Dieses reicht von sicherheitsrelevanten Fragen zu bestehenden Kernkraftwerken (z.B. Analysen zur Werkstoffalterung über Endlagersysteme bis zu künftigen Reaktorkonzepten sowohl der Kernspaltungs- als auch der Kernfusionstechnologien.

Die Arbeiten sind international vernetzt, wie beispielsweise im «Generation IV International Forum» und in ITER, im Euratom-Programm und anderen Forschungsprogrammen der EU, sowie in Projekten der Nuklearenergieagentur (NEA) der OECD, der Internationalen Atomenergieagentur (IAEA) und in verschiedenen Industrie-Forschungsprogrammen eingebettet.

Angesichts der weltweiten Anstrengungen zur Reduktion von CO₂-Emissionen (z.B. Kyoto-Protokoll) und der immer grösseren Bedeutung der Elektrizität als flexibel einsetzbare Energie sollen fortschrittliche Kernkraftwerke wie etwa künftige Kernfusionsanlagen eine wichtige Rolle im Energieversorgungsmix spielen. Neben der konventionellen Stromproduktion über Dampfturbinen bilden auch andere Formen der Energie- bzw. Wärmenutzung Diskussionsstoff. So werden heute bereits Abklärungen für die Produktion von Wasserstoff mittels Kernenergie durchge-

führt. Durch intensive und kontinuierliche Forschungsaktivitäten sollen die material- und prozesstechnischen Abklärungen für diese Weiterentwicklungen gemacht sowie die Ausbildung und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses gewährleistet werden.

Die Forschung wird indes sowohl von der Akzeptanz der Kernspaltung (Fission) als auch der Kernverschmelzung (Fusion) geprägt. Die Sicherheit von Kernanlagen und vor allem auch die Endlagerung von radioaktiven Abfällen sind permanente Themen in der Auseinandersetzung um die Kernenergie. In zunehmendem Masse wird aber auch über die Verfügbarkeit des Brennstoffes für Reaktoren diskutiert; eine steigende Nachfrage an Brennstoff müsste wohl mit dem Wiedereinsatz der Brütertechnologie komplettiert werden. Der Einsatz dieser Technologien ist – ähnlich wie bei anderen Energienutzungsarten – von den weltweiten sozio-politischen Rahmenbedingungen abhängig. Mit einer weiteren Öffnung der Schere zwischen Angebot und Nachfrage bei fossilen Energieträgern wird der Bedarf nach einer Substitution durch andere Energiearten zunehmen. Damit finden höhere Sicherheit und Wirtschaftlichkeit sowie die effizientere Ressourcennutzung neuer Kernreaktorkonzepte – und längerfristig auch das Potenzial der Kernfusion – steigende Beachtung.



Mit dem Tandem-Beschleuniger an der ETH Zürich werden Strahlenschädigungen an Werkstoffen erzeugt, um Erkenntnisse für zukünftige Nuklearanlagen zu gewinnen. Nach der Bestrahlung werden die Zusammenhänge zwischen Werkstoffeigenschaften und Gefüge am PSI erforscht.

den beispielsweise beim Projekt *Fast* die schnellen Reaktoren der Generation IV modelliert und ihre Effizienz bezüglich Aktiniden-Management sowie ihre Sicherheitsmerkmale verglichen. Die Grossanlagen des PSI (Hotlabor, Proteus, Panda usw.) werden auch für experimentelle Untersuchungen von Reaktorkonzepten, Brennstoffen und Abfall bei Systemen der Generation IV eingesetzt und dienen so der Nachwuchsausbildung an grossmasstäblichen Experimenten.

Bedeutend am PSI ist auch die spezifische Materialforschung: einerseits mit Untersuchungen von Alterungserscheinungen an Komponenten der heutigen Reaktoren, und andererseits mit der Charakterisierung von Materialien für den Einsatz in Reaktoren der Generation IV bei extremen Temperaturen (850 bis 1000 °C). Es geht dabei um die Suche nach Materialien, welche bei hoher Temperatur, Bestrahlung und mechanischer Belastung sowie im Kontakt mit korrosiven Medien und bei Lastwechseln über mehrere Jahrzehnte ihre Funktion erfüllen müssen. Die Kompetenz der Materialwissenschaftler bei Fragen der Spannungsrisskorrosion, der Korrosion von Brennstoffhüllen und der zerstörungsfreien Messmethoden und der Ermüdung unterschiedlicher Stähle stellt einen wichtigen Beitrag der Schweiz in internationalen Projekten für die Entwicklung von Hochtemperaturreaktoren dar. Reaktoren der Generati-

on IV sollen ab 2040 kommerziell verfügbar sein. Es gilt daher, einerseits die Option fortschrittlicher Reaktoren für die Schweiz zu prüfen und andererseits die entsprechende Ausbildung von Wissenschaftlern und Ingenieuren sinnvoll zu fördern.

Infrastrukturen für Endlagerforschung

Die in den vergangenen Jahren erarbeitete Kompetenz bei der Entsorgung und Lagerung radioaktiver Substanzen kann für die in Arbeit befindlichen Endlagerprojekte nach Bedarf wieder genutzt werden. Wissenschaftler des PSI haben sich lange mit Fragen der Sicherheit von geologischen Lagerstätten befasst, für welche die Nagra (Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle) zuständig ist. Neben Analysen im PSI-Hotlabor hat sich auch das Felslabor Mont Terri bei St-Ursanne (JU), das künftig für erweiterte Tests zum Einsatz kommen soll, bewährt. Die für die Lagerung von radioaktiven Abfällen gewonnenen Erkenntnisse sollen in Zukunft auch auf andere toxische Materialien angewendet werden. Mit der neuen Strahllinie (Micro-XAS) der Swiss Light Source am PSI steht eine weitere moderne Anlage zur Verfügung, welche mit ihren spezifischen, im Mikrobereich angesiedelten spektroskopischen Untersuchungen auch für radioaktive Substanzen (z.B. Radionuklide in einem Endlager) genutzt werden kann.

Meilensteine für die Nutzung grosser Potenziale

Mit der kontrollierten Kernfusion könnte in Zukunft Bandenergie produziert werden. Die für Fusionsenergie benötigten Brennstoffe sind beinahe unbegrenzt vorhanden und die eingesetzten Brennstoffmengen so bescheiden, dass diese Reaktoren auch in Ballungsgebieten als unproblematisch gelten können. Fusionsenergie erzeugt keine Treibhausgase und die Abfallbilanz sowie die Kurzlebigkeit der Radionuklide sind gegenüber der Kernspaltung vorteilhaft. Allerdings stellt die technische Umsetzung der kontrollierten Kernfusion eine enorme Herausforderung dar; der Weg zur kommerziellen Nutzung ist noch weit, die wichtigsten Meilensteine (ITER, DEMO) sind jedoch bereits gesetzt.

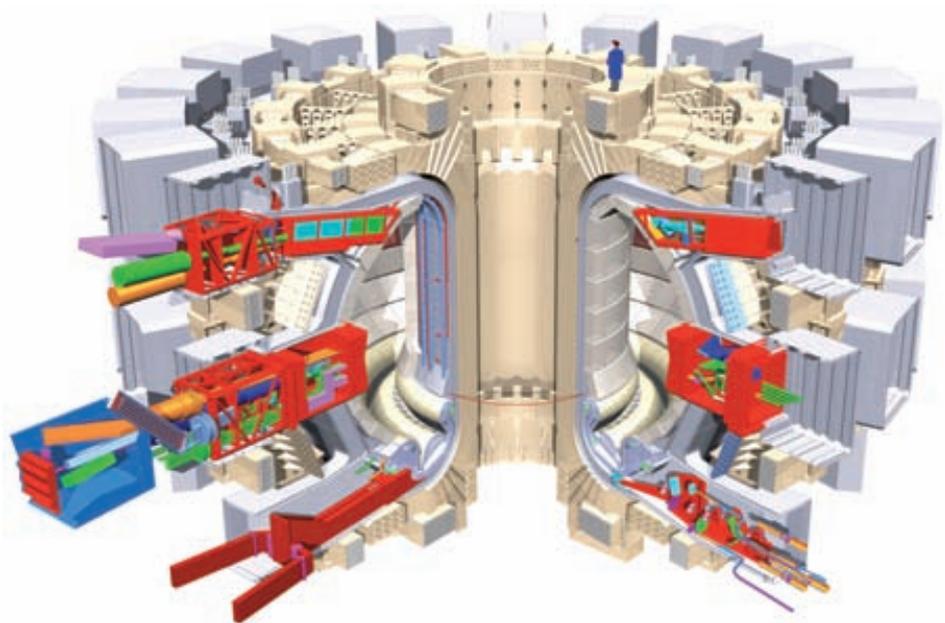
Der Internationale Experimentier-Fusionsreaktor wird gebaut

Für das Erreichen einer Fusionsreaktion gilt heute der magnetische Einschluss eines Plasmas als der am weitesten entwickelte Ansatz. Bei Temperaturen von rund 100 Mio. °C kollidieren Deuterium- und Tritiumkerne mit solcher Heftigkeit, dass die elektromagnetische Abstoßung überwunden wird und es zur Kernverschmelzung kommt. Die durch diese Fusion freigesetzte Energie wird in Wärme umgewandelt, welche für den konventionellen Betrieb von Turbinen und Generatoren genutzt werden kann. Nachdem die wissenschaftlichen Grundlagen

in einer praktisch weltweiten Kooperation erarbeitet worden sind – u.a. mit dem seit Mitte der 1980er-Jahre unter Beteiligung der Schweiz genutzten Fusionsforschungsreaktor JET (Joint European Torus) –, soll nun mit ITER ein erheblicher Entwicklungsschritt hin zur technologischen Umsetzung getan werden.

Der Bau des Internationalen Thermonuklearen Experimental-Reaktors (ITER; lat.: der Weg) ist seit 2007 beim französischen Ort Cadarache nahe Aix-en-Provence im Gang. In etwa zehn Jahren soll ITER bereit sein und eine thermische Leistung von 500 Megawatt erbringen. Im Gegensatz zu JET und anderen Versuchsreaktoren will man auch den quasi kontinuierlichen Betrieb demonstrieren. ITER wird einen Torus-Durchmesser von über zwölf Metern aufweisen, ein Plasma-Volumen von 840 m³ enthalten und soll 20 Jahre in Betrieb stehen. Als letzten Schritt zur kommerziellen Nutzung der Fusionsenergie plant die internationale Gemeinschaft den Demonstrations-Fusionsreaktor DEMO. Während ITER die wissenschaftliche und technologische Machbarkeit zu beweisen hat, soll DEMO die wirtschaftliche Möglichkeit der Stromproduktion aus Fusionsenergie aufzeigen.

Seit 2007 wird beim südfranzösischen Ort Cadarache am Internationalen Thermonuklearen Experimental-Reaktor (ITER) gebaut. In etwa zehn Jahren soll der Fusionsreaktor eine thermische Leistung von 500 MW erbringen. Eine wichtige Rolle spielen dabei auch die um den Torus platzierten Einrichtungen für die Messung der Plasmaeigenschaften.



Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI)

Mit dem Aufschwung der Kernenergieerzeugung in den 1950er-Jahren hat der Bund auch die Aufsichtsbehörde strukturiert. Seit 1983 ist das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI, früher HSK) für die Aufsicht zuständig. Im Rahmen der regulatorischen Sicherheitsforschung vergibt und koordiniert das ENSI Forschungsaufträge. Damit wird der aktuelle wissenschaftlich-technische Kenntnisstand ermittelt und erweitert. Als Auslöser solcher Forschungsprojekte dienen konkrete sicherheitsrelevante Fragen im Zusammenhang mit bestehenden Anlagen sowie Probleme und Phänomene der nuklearen Sicherheit im Allgemeinen.

Das im Jahr 2005 in Kraft gesetzte Kernenergiegesetz hat die Restbetriebszeiten nicht festgelegt. Die Stilllegung der heutigen Kernanlagen wird jedoch in absehbarer Zeit erfolgen müssen. Das ENSI muss in diesem Umfeld die Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben für den Betrieb überwachen, das Alterungsverhalten bewerten und die spätere Stilllegung begleiten.

Insbesondere das Festlegen des Zeitpunktes der Ausserbetriebnahme, sowie der Umgang mit Sicherheitsfragen und Investitionen während der letzten Betriebsjahre werden das ENSI in Zukunft vermehrt beschäftigen.

Aufgrund dieser Herausforderungen setzt das ENSI seine Forschungsschwerpunkte auf Alterungsmechanismen und auf deterministische und probabilistische Untersuchungen von Störfällen. Weiter ist das Zusammenwirken von Mensch, Organisation und Technik ein bedeutender Themenkreis, denn die Sicherheit einer Kernanlage ist gleichzeitig an menschliche, organisatorische und technische Voraussetzungen gebunden. Dies betrifft neben den technischen Ereignisursachen auch den Einfluss menschlichen Handelns – sowohl bei Normalbetrieb als auch bei Störfällen. Das ENSI unterstützt zudem Forschungsaktivitäten betreffend die Entsorgung radioaktiver Abfälle. Die Aufsichtsbehörde muss dabei die Sicherheit der vorgeschlagenen Lösungen bewerten.

Da die Inbetriebsetzung neuer Kernreaktoren in Europa zu erwarten ist, befasst sich das ENSI auch mit deren Sicherheitstechnologie. Bei den neuen Konzepten handelt es sich beispielsweise um passive Sicherheitssysteme für die Kühlung durch das Schwerkraftsprinzip sowie um den «Core Catcher» zur Rückhaltung eines geschmolzenen Kerns im Containment. Diese Konzepte kommen bereits bei den in Finnland und in Frankreich im Bau befindlichen Druckwasserreaktor des Typs «European Pressurized Reactor, EPR» zur Anwendung.

Das ENSI setzt bei der Behandlung der Themen auf die internationale Zusammenarbeit und auf das fundierte Know-how der Schweizer Forschungsinstitute.

Kompetenz bei der Plasma-Technologie

Der Hauptakteur in der Schweizer Fusionsforschung ist das Forschungszentrum für Plasmaphysik (CRPP) der ETH Lausanne. Im Rahmen der Forschungs Kooperation Schweiz–Euratom betreibt das CRPP eine Reihe von Forschungsinfrastrukturen, welche verschiedene Aspekte der Fusionstechnologie abdecken. Zu erwähnen sind hier der «Tokamak à Configuration Variable (TCV)», die Torpex-Anlage (Toroidal Plasma Experiment) und die Sultan-IT-Infrastruktur zur Simulation von Turbulenzphänomenen. Das CRPP verfolgt in Bezug auf ITER und DEMO das Ziel, theoretische und experimentelle Grundlagen zu liefern sowie Beiträge zu Heizung, Diagnostik, Regelung und supraleitenden Verbindungen zu erarbeiten. Im Bereich der Heizung entwickelt das Institut der ETH Lausanne Gyrotrons, welche mit 2 MW und 170 GHz hoch energetische Ionenstrahlen einschiessen, und damit die Aufheizung des Plasmas bewirken.

Neben dem CRPP beschäftigt sich auch das Institut für Physik der Universität Basel mit der Kernfusion. Über die Untersuchung von Oberflächeneigenschaften will man dort eine Technologie entwickeln, welche die Herstellung von Spiegelsystemen zur Messung der Plasmaeigenschaften in künftigen Fusionsreaktoren ermöglicht.

Höchste Anforderungen an die Materialien

Für den DEMO-Reaktor ist die Suche nach Materialien mit niedriger Aktivierung von grosser Bedeutung. Neue Materialien sollen in der internationalen Fusionsmaterial-Bestrahlungsanlage (Ifmif) untersucht werden. Ähnlich der Entwicklung von Hochtemperatur-Kernspaltungsreaktoren ist auch die Fusionsforschung einerseits von der Suche nach widerstandsfähigen Materialien geprägt, andererseits besteht – aufgrund des langfristigen Charakters dieser Entwicklung – ein grosses Bedürfnis an wissenschaftlichem Nachwuchs. Die eingesetzte Infrastruktur ermöglicht eine herausfordernde und gleichzeitig zukunftsorientierte Ausbildung junger Chemiker, Ingenieure, Physiker usw., und dies über das gesamte Spektrum einer Forscherlaufbahn.

Die Kernfusion stellt eine Energietechnologie mit grossem Potenzial dar, deren Umsetzung in den kommerziellen Massstab jedoch von zahlreichen, heute schwierig einschätzbaren Faktoren abhängig ist. In Kooperation mit anderen Ländern ergeben die wissenschaftlichen Arbeiten der Forschenden jedoch auch für ein kleines Land wie die Schweiz Sinn. Neben dem positiven Einfluss auf Wissenschaft und Lehre zeigen die zahlreichen Ergebnisse für neue Produkte aus dem bisherigen JET-Betrieb, dass Industriebereiche schon heute von dieser Forschung profitieren können.

Rahmenbedingungen für eine nachhaltige Energieversorgung

Energieproduktion, -verteilung und -verbrauch hängen nicht nur von den vorhandenen Technologien ab, sondern ebenso von wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen. Mit diesen Fragen beschäftigt sich das Forschungsprogramm «Energie – Wirtschaft – Gesellschaft (EWG)» des Bundesamts für Energie (BFE).

Das in diesem Programm erarbeitete Wissen dient sowohl als Basis für die längerfristige Ausrichtung der Energiepolitik, als auch für die Behandlung politischer Geschäfte zum Thema Energie und zu angrenzenden Gebieten wie Umwelt und Verkehr. Gegenstand der Forschung ist die Optimierung bestehender, aber auch die Erarbeitung neuer Instrumente. Die Resultate kommen politischen Instanzen, Verbänden und anderen Organisationen, aber auch der Industrie zugute.

Wie ist die 2000-Watt-Gesellschaft realisierbar?

Das Forschungsprogramm EWG orientiert sich an der Zielsetzung einer sicheren und nachhaltigen Energieversorgung für die Schweiz im Sinne der 2000-Watt-Gesellschaft. Es identifiziert die volkswirtschaftlichen Auswirkungen einer Entwicklung Richtung 2000-Watt-Gesellschaft und die Resultate des Programms fliessen unter anderem in die Energieperspektiven des BFE ein. Diese zeigen auf, mit welchen energiepolitischen Instrumenten die 2000-Watt-Gesellschaft realisiert werden kann.

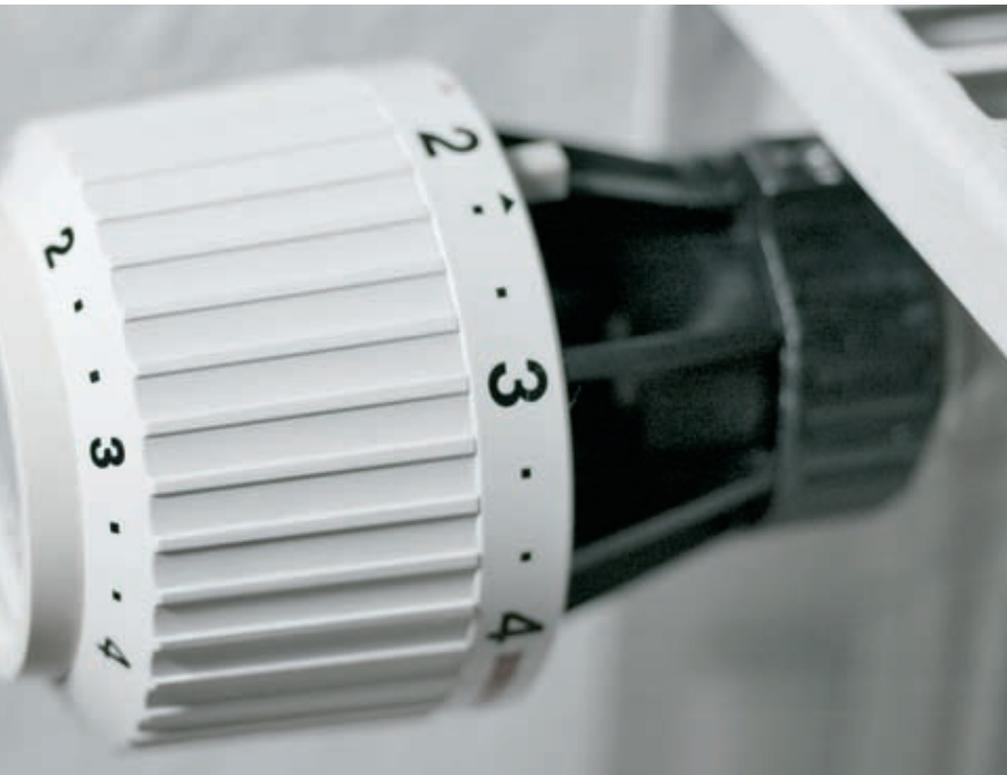
Vielfalt der Themen, der Disziplinen und der Institutionen

Das Forschungsprogramm EWG gliedert sich in zwei Teilgebiete: die angewandte Forschung und die politiknahe Forschung. Die angewandte Forschung kann in drei Bereiche aufgeteilt werden: Innovation, Verhalten und Modelle. Bei ersterem wird der ganze Innovationsprozess von Energietechnologien, von der Idee bis zur Markteinführung untersucht, damit eventuelle Hemmnisse und Erfolgsfaktoren identifiziert werden können. Im Bereich Verhalten wird analysiert, wie Entscheidungsprozesse bei Konsumenten vor sich gehen. Wieso werden energieeffizientere Geräte, welche längerfristig auch billiger sind, nicht gekauft (siehe «Diskontrate» im Glossar)? Wie hängen Entscheidungen davon ab,

ob kaufrelevante Informationen unsichere Komponenten (zum Beispiel zukünftige Entwicklung von Energiepreisen) beinhalten? Dies sind Fragen, die detailliert beantwortet werden sollen, damit optimale energiepolitische Instrumente unter den gegebenen Rahmenbedingungen entwickelt werden können. Im letzten Bereich werden Modelle entwickelt, welche die wirtschaftlichen und technologischen Gegebenheiten abbilden, und es ermöglichen, die Auswirkungen politischer Massnahmen auf verwendete Technologien und die Volkswirtschaft abzuschätzen.

In der politiknahen Forschung werden aktuelle Fragen der Energiepolitik untersucht, welche als Grundlage für die politischen Aufgaben des BFE verwendet werden. Entsprechend vielfältig sind die beteiligten Forschungsdisziplinen: von der Makro- und Mikroökonomie über die Politologie zur Soziologie und Psychologie, ohne natürlich die technischen Grundsätze zu vernachlässigen. Ein Beispiel zum Thema Versorgungssicherheit sind die Auswirkungen einer verstärkten Nutzung von erneuerbaren Energien, sei es für Wärme, Strom oder Treibstoff und die Akzeptanz von grossen Infrastrukturanlagen. Ab 2020, wenn die älteren Kernkraftwerke der Schweiz vom Netz genommen werden, muss die Stromlücke gefüllt werden. Mögliche Lösungsansätze sind gesteigerte Energieeffizienz, der Neubau von Grosskraftwerken, vermehrte Importe oder eine grössere Stromproduktion aus erneuerbaren Energiequellen. Eine wichtige Frage betrifft daher die Rahmenbedingungen für die Produktion von Elektrizität aus erneuerbaren Energiequellen. Die Potenziale sind im Wesentlichen bekannt, es braucht aber weiter gehende Forschung zu deren wirtschaftlichen Auswirkungen

Die Forschung wird an zahlreichen Orten durchgeführt: An den verschiedenen ETH-Instituten, den Universitäten, den Fachhochschulen sowie bei vielen privaten Planungs- und Beratungsbüros, welche auch über



Die Kosten für Heizung und Warmwasser gerecht aufteilen und so die Mieter zum sorgsamem Umgang mit Energie animieren: Das ist das Ziel der VHKA, der verbrauchsabhängigen Heiz- und Warmwasserkostenabrechnung. Obwohl die Wirkung erwiesen ist und die VHKA in der Schweiz seit den 1980er-Jahren allmählich eingeführt wurde, fristet diese energiepolitische Massnahme in vielen Kantonen ein Schattendasein. Dies zeigt eine Studie, welche das BFE im Rahmen des Forschungsprogramms Energie – Wirtschaft – Gesellschaft (EWG) Ende 2008 herausgegeben hat. Im Hinblick auf die Zukunft der VHKA zeigt die Studie eine Reihe von Varianten auf. Während eine sich dafür ausspricht, die VHKA in Altbauten für alle Kantone wieder obligatorisch einzuführen, empfiehlt eine andere, die Bemühungen auf Bundes- und kantonaler Ebene vollständig auf den Neubau zu konzentrieren.

wichtiges Know-how verfügen und sich an den Studien beteiligen. Das Forschungsprogramm EWG ist darum besorgt, national und international den Informationsaustausch zwischen Forschern anzuregen und neue Methodenkompetenzen zu generieren.

Und in 50 Jahren?

Das Forschungsprogramm EWG stellt gezielt Grundlagen für aktuelle Diskussionen um neue Gesetze und internationale Vereinbarungen bereit: Auf nationaler Ebene stehen etwa Entscheide zum CO₂-Gesetz nach 2012 an, auf europäischer Ebene sind es vor allem die Regulierungen der Energiemärkte und die Zertifizierung von erneuerbarem Strom und auf internationaler Ebene die Fragen des Post-Kyoto-Prozesses: Zu welchen energiepolitischen Zielen kann sich die Schweiz nach 2012 verpflichten?

Doch der Blick geht auch weiter in die Zukunft: Welchen Beitrag kann beispielsweise die angestrebte ökologische Steuerreform in 20 und in 50 Jahren für den Einsatz neuer Technologien und den effizienten Einsatz von Energie leisten?

Glossar

Energieperspektiven

Die vom BFE regelmässig erarbeiteten Energieperspektiven zeigen die Optionen für die Planung einer langfristigen, nachhaltigen Energiepolitik im Spannungsfeld zwischen Versorgungssicherheit, Umwelt-, Wirtschafts- und Sozialverträglichkeit auf. Die aktuellsten Perspektiven liegen seit Mitte Februar 2007 vor. Sie bilden die Grundlage für die politische Diskussion zur künftigen Ausgestaltung der schweizerischen Energie- und Klimapolitik.

Diskontrate

2008 starteten verschiedene mehrjährige Projekte, welche mit Hilfe von Experimenten die Diskontrate bei Haushalten analysieren. Je höher die Diskontrate, desto mehr werden die heute anfallenden Kosten und Gewinne relativ zu in Zukunft anfallenden Kosten und Gewinnen gewichtet. Dies ist wichtig beim Kauf von elektrischen Geräten, und auch zentral bei der globalen Klimadiskussion.

Langer Atem für Innovationsprozesse

Obschon die Ergebnisse der schweizerischen und der internationalen Energieforschung wachsenden Eingang in den Markt finden, ist es ein besonderes Anliegen der Energieforschung des Bundes, diesen Prozess zu fördern und zu beschleunigen, wo nötig mit öffentlich finanzierten Massnahmen. Dieser Eingriff ist notwendig, da im Energiesektor eine Entwicklung in Richtung Nachhaltigkeit durch die Marktkräfte allein nicht in Gang gesetzt wird. Die Zusammenarbeit von Forschung, Gesellschaft, Wirtschaft und Politik ist bei diesem Prozess unabdingbar.

Komplexer Umbauprozess

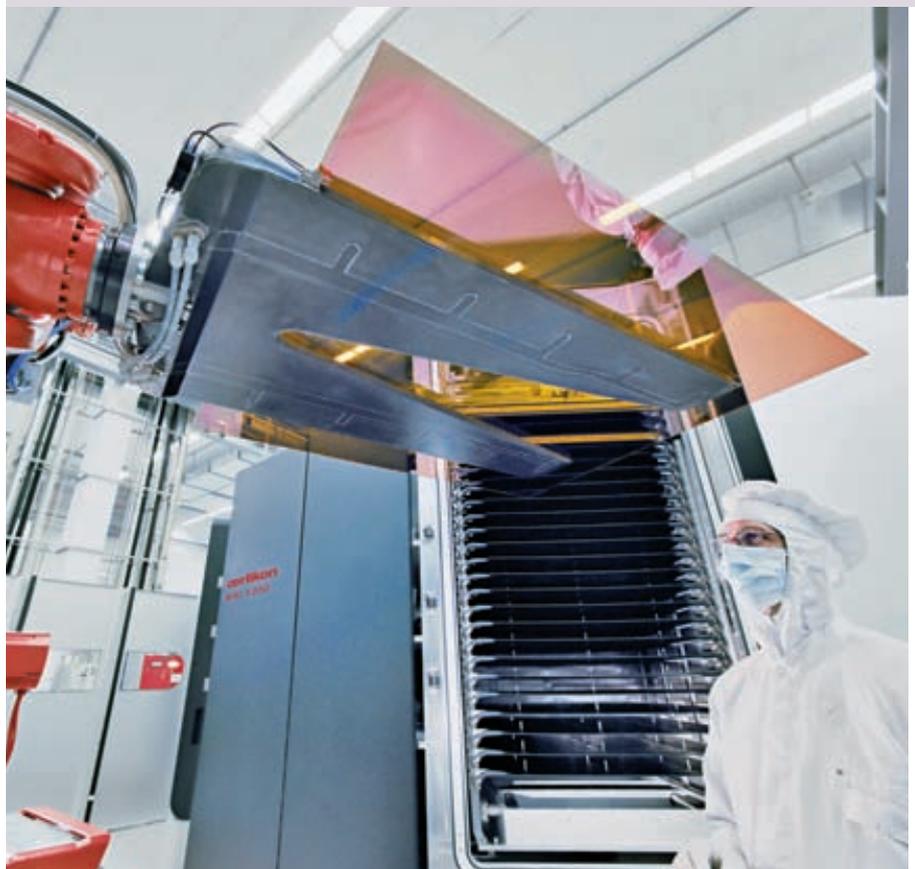
Die Entwicklung neuer, zukunftsweisender Technologien erfolgt in mehreren, oft rekursiven Schritten, von der grundlegenden, naturwissenschaftlichen Forschung über die angewandte Forschung und die technische Systementwicklung und -erprobung bis hin zur Umsetzung und Verbreitung der Ergebnisse in den Markt.

Die zukünftige Entwicklung des Energiebedarfs und des Beitrags der verschiedenen Energieressourcen hängt zudem von weiteren Faktoren ab, insbesondere von ökonomischen, ökologischen, ordnungspolitischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen (Preise von Ressourcen und von Arbeit, Gesetze, Verordnungen, Steuern und Abgaben, gesellschaftliche Wertvorstellungen). Neben der Wirtschaftlichkeit spielen die Sicherheit und die Umweltverträglichkeit der Innovation auch für künftige Generationen sowie für Entwicklungs- und Schwellenländer eine entscheidende Rolle.

Mit den Energieforschungsprogrammen des Bundesamtes für Energie (BFE) und EnergieSchweiz, dem partnerschaftlichen Programm für Energieeffizienz und erneuerbare Energien, setzt die Förderung des Innovationsprozesses durch

das BFE auf allen Stufen der Entwicklungskette an. Dabei werden alle im letzten Abschnitt aufgezählten Faktoren berücksichtigt, und es wird versucht, diese im Gegenzug mit den neusten Erkenntnissen aus der Forschung positiv zu beeinflussen. Der Wissens- und Technologietransfer ist ein komplexer, aber zentraler Prozess, dem es besondere Beachtung zu schenken gilt. Es ist Aufgabe der Wissens- und Technologietransferstelle, den horizontalen (z.B. von einem Unternehmen zu einem anderen) und den vertikalen Austausch (z.B. von akademischen Forschungszentren zu industriellen Partnern) entlang der technologischen Wertschöpfungskette zu erleichtern und zu fördern.

Das Forschungszentrum für Kernfusion der ETH Lausanne hat seine Kenntnisse auf dem Gebiet der Plasmatechnologie an die Universität Neuenburg zur Entwicklung von Dünnschicht-Solarzellen weitergegeben. Im Jahr 2002 konnte ein Kooperationsvertrag zwischen Unaxis (heute OC Oerlikon) – einer weltweit führenden Firma im Bereich der Plasmabildschirme – und der Universität Neuenburg abgeschlossen werden, um zuerst amorphe und später mikromorphe Solarzellen in Grossserien und damit zu günstigen Preisen zu produzieren. Die Neuenburger Forschungsergebnisse haben ferner zur Gründung neuer Firmen geführt, wie etwa der auf Dünnschicht-Photovoltaik spezialisierten Firma VHF-Technologies SA (im Jahr 2000 in Yverdon gegründet).



Glossar

P&D-Projekte

P&D-Projekte steht für Pilot- und Demonstrationsprojekte. Während Pilotprojekte die technische Machbarkeit einer neuen Entwicklung zeigen, geht es bei Demonstrationsprojekten darum, die Akzeptanz innovativer Technologien und Lösungen zu erhöhen und deren Rentabilität nachzuweisen.

EnergieSchweiz

EnergieSchweiz ist das partnerschaftliche Programm des Bundes für Energieeffizienz und erneuerbare Energien. Es fördert die Zusammenarbeit zwischen Bund, Kantonen, Gemeinden und Partnern aus Wirtschaft, Umwelt- und Konsumentenorganisationen sowie öffentlichen und privatwirtschaftlichen Agenturen.

Business Network Switzerland

Das Service Center des Business Network Switzerland ist die Anlaufstelle für Unternehmen, die Antworten auf ihre Fragen zum Auslandsgeschäft suchen. Das Bundesamt für Energie hat mit dieser Netzwerkorganisation des Staatssekretariats für Wirtschaft (SECO) einen Kooperationsvertrag abgeschlossen, der die optimale Zusammenarbeit garantiert.

REPIC (Renewable Energy Promotion in International Cooperation)

Die interdepartementale Repic-Plattform zur Förderung der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz in der internationalen Zusammenarbeit trägt zur Umsetzung der globalen Klimaschutzvereinbarungen und zur Förderung einer nachhaltigen Energieversorgung in Entwicklungs- und Schwellenländern bei. Sie stellt damit einen wichtigen Bestandteil der Umsetzung der schweizerischen Politik der nachhaltigen Entwicklung auf internationaler Ebene dar.

Wertschöpfung als Ziel

Rund 70 Prozent des Endenergieverbrauchs der Schweiz wird mit fossiler Energie gedeckt. Um die Ziele der Nachhaltigkeit zu erreichen (Senkung des CO₂-Ausstosses auf 1 Tonne pro Person und Jahr), muss dieser Verbrauch um den Faktor sechs gesenkt werden. Dazu ist kurzfristig die Verbesserung von bestehenden und längerfristig die Einführung neuer Technologien und Konzepte notwendig. Es müssen veraltete Technologien vom Markt verdrängt und Verhaltensmuster überdacht werden. Auf der anderen Seite bietet dieser Prozess der Schweizer Forschung und der Wirtschaft die Chance, ihre Innovations- und Exportstärke auszuspielen und verbesserte Produkte und Dienstleistungen weltweit anzubieten.

Eine besondere Bedeutung kommt in diesem Zusammenhang den Pilot- und Demonstrationsprojekten

(P&D-Projekten) zu. Mit ihnen werden die technische Machbarkeit, die Wirtschaftlichkeit und die Akzeptanz von innovativen Technologien und Lösungen erprobt. Zusätzlich beteiligen sich oft Forschende und Unternehmen gemeinsam an P&D-Projekten, was den Wissenstransfer und die Umsetzung wissenschaftlicher Erkenntnisse erheblich erleichtert und beschleunigt.

Zusammenarbeit ist der Schlüssel

Mit gezielten Massnahmen ist das BFE bestrebt, den Reibungsverlust an den Schnittstellen zwischen Forschungsinstituten und Industrie zu verringern und so den Technologietransfer zu erleichtern. Dazu werden konsequent die vorhandenen Instrumente des Bundes, der Kantone und der Privatwirtschaft genutzt. Wo Lücken bestehen, wird zur Überbrückung das BFE-Budget für Energieforschung subsidiär eingesetzt.

Aus Marktaktivitäten lernen

Ein funktionierender Heimmarkt ist eine wichtige Voraussetzung, um auch im Export erfolgreich sein zu können. Exportierende Schweizer Firmen profitieren ganz besonders von der Dynamik des internationalen Marktes, die wiederum nicht zuletzt oft auf gezielte staatliche Fördermassnahmen zurückzuführen ist. In diesen Wachstumsmärkten müssen sich Schweizer Innovationen bewähren können, indem schon bei der Forschung und Entwicklung konkurrenzfähige Produkte und Systeme geplant werden. Beim Auslandsgeschäft arbeiten das Bundesamt für Energie und das Business Network Switzerland des Staatssekretariats für Wirtschaft (SECO) eng zusammen.

Für den weltweit beschleunigten Einsatz von effizienten Technologien oder Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien ist auch die Zusammenarbeit mit sich entwickelnden Ländern von grosser Bedeutung. Diese Länder steigern mit der Entwicklung ihrer Wirtschaft auch den Energieverbrauch. Damit sich möglichst viel Nutzen aus den Energieträgern gewinnen lässt, ist der Einsatz neuer, effizienter und günstiger Technologien zweckmässig. Die Plattform Repic koordiniert die Projekte verschiedener Bundesstellen auf diesem Gebiet.

Internationale Zusammenarbeit



Das Ziel der europäischen Technologieplattform «SmartGrids» ist es, die zunehmende Anzahl kleiner, dezentraler Stromerzeugungsanlagen optimal ins Stromnetz einzubinden und eine zuverlässige, energieeffiziente und kosteneffektive Energieversorgung sicherzustellen.

Die internationale Zusammenarbeit im Bereich der Energieforschung hat bereits eine lange Tradition. Zum grössten Teil findet sie einerseits durch die Internationale Energieagentur (IEA) der OECD und andererseits im Rahmen der Forschungsprogramme der EU statt. Die IEA bietet eine flexible Infrastruktur für diejenigen Länder, die auf einem bestimmten Gebiet zusammenarbeiten wollen. Die Projekte werden nach dem «Bottom-up»-Prinzip definiert und die Finanzierung unter den Teilnehmerländern aufgeteilt. Bei den EU-Projekten werden Themenbereiche ausgeschrieben, für die sich interessierende Forschergemeinschaften (öffentliche und private Stellen mehrerer Länder) bewerben können. Die Finanzierung erfolgt aus dem Forschungsbudget der EU, das auch Beiträge der Schweiz enthält.

Von Fall zu Fall entscheiden

Allerdings ist eine internationale Zusammenarbeit nicht in allen Fällen angebracht oder von Nutzen. Sie erzeugt Synergien, hilft Doppelspurigkeiten zu vermeiden und die Forschungseffizienz zu steigern und kann auch die beteiligte Industrie stärken. Aber spezifisch schweizerische Fragestellungen lassen sich nur auf nationaler Ebene lösen, und innovative Ansätze, zu deren Lösung und Verwertung die Schweizer Industrie besonders gut positioniert ist, werden mit Vorteil im Alleingang verfolgt. Vor- und Nachteile einer internationalen Einbettung von Energieforschungsprojekten müssen daher von Fall zu Fall gut abgewogen werden.

Durchführung von Kooperationsprojekten im EU-Bereich

Energie ist einer von neun Schwerpunkten der EU-Forschungsprogramme. Die Themen reichen vom Einsatz erneuerbarer Energien und der Reduktion der CO₂-Emissionen über die Steigerung der Energieeffizienz und die Schaffung von intelligenten Energienetzen bis zu Fragen der politischen Reglementierung und der internationalen Zusammenarbeit. Die Kernenergieforschung wird in einem separaten Programm im Rahmen der Europäischen Atomgemeinschaft (Euratom) gefördert.

Weltweite Koordination

In der IEA werden die Projekte in so genannten Implementing Agreements durchgeführt, die zwischen den daran beteiligten Ländern abgeschlossen werden. Derzeit laufen über 40 solche Vereinbarungen. Die Schweiz ist an 20 beteiligt. Ihre Aktivitäten reichen von Grundlagenforschung und angewandter Forschung, über die Evaluation der mit neuen Technologien erzielten Resultate hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und Ökologie bis zum Austausch und der Verbreitung von Forschungsergebnissen.

Glossar

EU-Forschungsrahmenprogramm

Das so genannte Forschungsrahmenprogramm (FRP) ist ein Förderprogramm der Europäischen Kommission. Das 7. FRP läuft seit Anfang 2007. Es verfügt über ein Budget von über 50 Mrd. Euro und hat eine Laufzeit von sieben Jahren.

Internationale Energieagentur (IEA)

Die in Paris ansässige IEA ist eine Organisation der OECD. Sie unterstützt die 26 Mitgliedstaaten bei ihrem Ziel, ihre Bevölkerung zuverlässig mit Energie zu versorgen. Dabei spielt der Einsatz verbesserter und neuer Technologien eine zunehmend wichtige Rolle. Die IEA öffnet der Schweiz den Zugang zur internationalen Forschungszusammenarbeit auch mit nicht europäischen Ländern.

		Forschung		Markt
I. Effiziente Energienutzung	BFE-Programm	Programmleiter	Bereichsleiter ¹⁾	Bereichsleiter ¹⁾
	Energie in Gebäuden	Charles Filleux Basler & Hofmann AG • Forchstr. 395, 8032 Zürich • Tel.: 044 387 11 22 Fax: 044 387 11 00 • charles.filleux@baslerhofmann.ch	Andreas Eckmanns	Olivier Meile
	Verkehr	Martin Pulfer, BFE	Martin Pulfer	Hermann Scherrer
	Akkumulatoren und Superkondensatoren			—
	Verfahrenstechnische Prozesse (VTP)			Martin Stettler
	Elektrizitätstechnologien und -anwendungen	Roland Brüniger R. Brüniger AG, Zwillikerstr. 8, 8913 Ottenbach • Tel.: 044 760 00 66 Fax: 044 760 00 68 • roland.brueniger@r-brueniger-ag.ch	Michael Moser	Felix Frey
	Netze	Michael Moser, BFE		—
	Wärme-Kraft-Kopplung (WKK)	Thomas Kopp HSR Hochschule für Technik Rapperswil • Oberseestrasse 10 8640 Rapperswil • Tel.: 055 222 49 23 • Fax: 055 222 44 00 thomas.kopp@hsr.ch	Andreas Eckmanns	Richard Phillips
	Verbrennung	Stephan Renz Beratung Renz Consulting • Elisabethenstr. 44 • Postfach • 4010 Basel Tel.: 061 271 76 36 • Fax: 061 272 57 95 • renz.btr@swissonline.ch	Sandra Hermle	
Kraftwerk 2020 / CCS	Peter Jansohn PSI, 5232 Villigen-PSI • Tel.: 056 310 28 71 • Fax: 056 310 26 24 peterjansohn@psi.ch	Gunter Siddiqi		
Brennstoffzellen	Stefan Oberholzer, BFE	Stefan Oberholzer	—	
II. Erneuerbare Energien	Wasserstoff	Stefan Oberholzer, BFE	Stefan Oberholzer	—
	Photovoltaik	Stefan Nowak NET Nowak Energie & Technologie AG • Waldweg 8, 1717 St. Ursen Tel.: 026 494 00 30 • Fax: 026 494 00 34 • stefan.nowak@netenergy.ch		Urs Wolfer
	Industrielle Solarenergienutzung	Pierre Renaud Planair SA, Crêt 108 a, 2314 La Sagne NE • Tel.: 032 933 88 40 • Fax: 032 933 88 50 • pierre.renaud@planair.ch		
	Solarwärme und Wärmespeicherung	Jean-Christophe Hadorn Base Consultants SA • 8 Rue du Nant, c.p. 6268, 1211 Genève 6 Tel.: 022 840 20 80 • Fax: 022 840 20 81 jchadorn@baseconsultants.com	Andreas Eckmanns	
	Wärmepumpen und Kälte	Thomas Kopp HSR Hochschule für Technik Rapperswil • Oberseestrasse 10 8640 Rapperswil • Tel.: 055 222 49 23 • Fax: 055 222 44 00 thomas.kopp@hsr.ch		Richard Phillips
	Holzenergie	Sandra Hermle, BFE	Sandra Hermle	Daniel Binggeli
	Biomasse (ohne Holz)			Bruno Guggisberg
	Wasserkraft	Klaus Jorde St. Leonhardstr. 59, 9000 St. Gallen • Tel.: 071 228 10 20 Fax: 071 228 10 30 • jorde@entec.ch	Michael Moser	Bernard Hohl
	Geothermie	Rudolf Minder Minder Energy Consulting • Ruchweid 22, 8917 Oberlunkhofen Tel.: 056 640 14 64 • Fax: 056 640 14 60 • rudolf.minder@bluewin.ch	Gunter Siddiqi	Markus Geissmann
Windenergie	Robert Horbaty Enco AG, Munzachstrasse 4 • 4410 Liestal • Tel.: 061 965 99 00 Fax: 061 965 99 01 • robert.horbaty@enco-ag.ch	Katja Maus		
III. Kernenergie	Kerntechnik und Nukleare Sicherheit	Jean-Marc Cavedon a.i. PSI, 5232 Villigen – PSI • Tel.: 056 310 27 24 • Fax: 056 310 44 81 jean-marc.cavedon@psi.ch	Michael Moser ²⁾	—
	Regulatorische Sicherheitsforschung	Reiner Mailänder ENSI, Industriestrasse 19, 5200 Brugg Tel.: 056 460 86 19 • Fax: 056 460 84 99 reiner.mailaender@ensi.ch		
	Kernfusion	Claude Vaucher SBF/SER, Hallwylstrasse 4, 3003 Bern • Tel.: 031 322 74 79 Fax: 031 322 78 54 • claude.vaucher@sbf.admin.ch		
	Radioaktive Abfälle	Simone Brander, BFE	Simone Brander	—
Querschnittsprogramme				
IV. Querschnittsaufgaben	Energie – Wirtschaft – Gesellschaft (EWG)	Nicole Mathys, BFE		
	Wissens- und Technologietransfer (WTT)	Yasmine Calisesi, BFE		

1) Mitarbeitende des Bundesamts für Energie (BFE). E-Mail: vorname.nachname@bfe.admin.ch • Fax: 031 323 25 00

2) Das BFE hat hier hauptsächlich die Rolle der Auskunftsstelle. Die Betreuung der Forschung des Bereichs III.1 obliegt dem PSI, die des Bereichs III.2 dem ENSI und die des Bereichs III.3 dem SBF.

Bundesamt für Energie
Mühlestrasse 4
CH-3063 Ittigen
Postadresse: CH-3003 Bern

Tel.: 031 322 56 11
Fax: 031 323 25 00

contact@bfe.admin.ch
www.bfe.admin.ch

06.11 400 860269416