

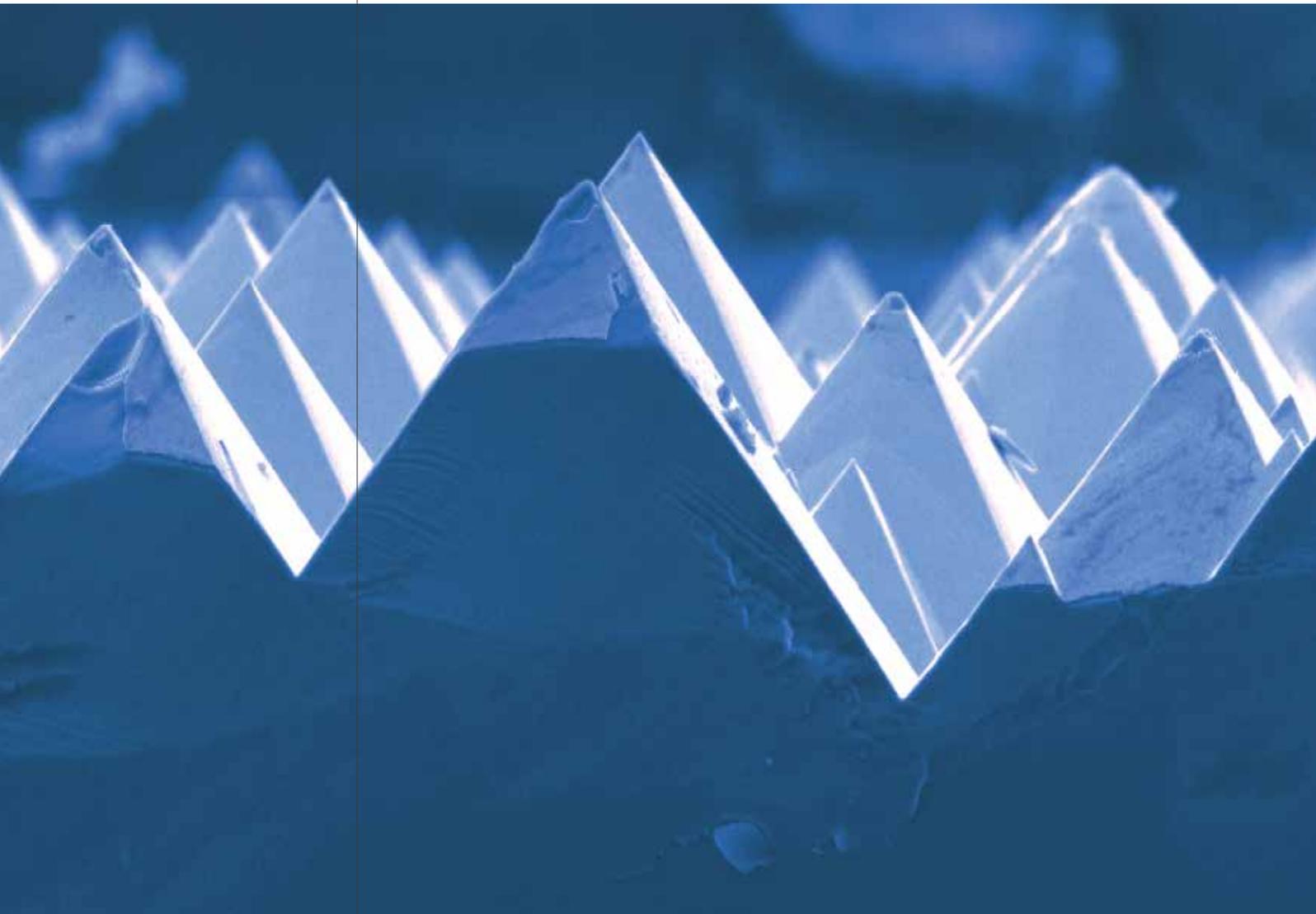


Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE

Energieforschung und Innovation

Bericht 2013



«Das Bundesamt für Energie ermöglicht uns eine Kontinuität bei der Entwicklung neuer Photovoltaiktechnologien entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Dank dieser Unterstützung konnten vielzählige Partnerschaften mit Schweizer und internationalen Industrieunternehmen realisiert werden.»

Prof. Dr. Christophe Ballif, Leiter des Photovoltaik Labors am IMT-Neuchâtel (EPFL) und Leiter des CSEM-PV-Centers.



EDITORIAL

Mit der «Energiestrategie 2050» setzt der Bund Rahmenbedingungen für eine sichere, wirtschaftliche und umweltverträgliche Energieversorgung. Dazu sollen unter anderem die Energieeffizienz verstärkt und der Anteil der erneuerbaren Energien ausgebaut werden. Ein wichtiger Schlüssel zur Zielerreichung ist eine qualitativ hochstehende und innovative Energieforschung gekoppelt mit einem effektiven Technologietransfer. Bei einzelnen Energietechnologien benötigen Entwicklungen oft längere Zeiträume und die Umsetzung neuer Produkte im Markt kann sich sogar über Jahrzehnte erstrecken. In der Schweiz nimmt hier das Bundesamt für Energie (BFE) eine Koordinations- und Förderrolle ein – von der Unterstützung beim Aufbau von Kompetenzen über die Bündelung sowie Abstimmung unterschiedlichster Partner bis zur Unterstützung von Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekten.

Die vorliegende Broschüre zeigt eine Auswahl durch das BFE geförderter Projekte und Themenfelder, aus welchen im vergangenen Jahr besonders wertvolle Resultate entstanden sind.



Dr. Walter Steinmann
Direktor

INHALT

Energieforschung in der Schweiz.....	3
--------------------------------------	---

EFFIZIENTE ENERGIENUTZUNG

Keine Angst vor leeren Batterien	5
Inspiration für die Gebäudesanierung.....	7
Auf der Spur verbrennungsrelevanter Moleküle.....	9
Kurzzeitspeicher zur Netzstabilisierung.....	11
Neuartiger 2-Watt-Router ist 80 % effizienter	11
Staubbeladene Abwärme in Strom umwandeln.....	11

ERNEUERBARE ENERGIEN

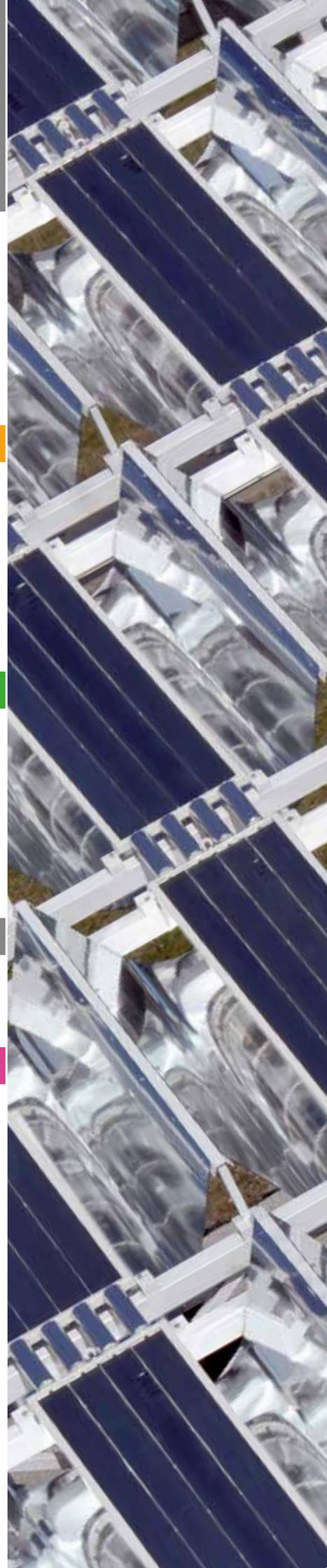
Solare Exporttechnologie aus dem Tessin.....	13
Wenn Eis die Gemüter der Energiewirtschaft erhitzt.....	15
Speicherverlandung an alpinen Wasserkraftanlagen	17
Gemüse dank Erdwärme.....	19
Leckagen bei Biogasanlagen	19
Effiziente Dünnschichtsolarzellen	19

ENERGIE, WIRTSCHAFT, GESELLSCHAFT

Wie beeinflusst Information den Elektrizitätsverbrauch?.....	21
--	----

KERNENERGIE

Radioaktive Abfälle und regionale Partizipation	23
Spiegel für den Fusionsreaktor ITER.....	24
Zahlen und Fakten	26
Internationale Zusammenarbeit.....	28

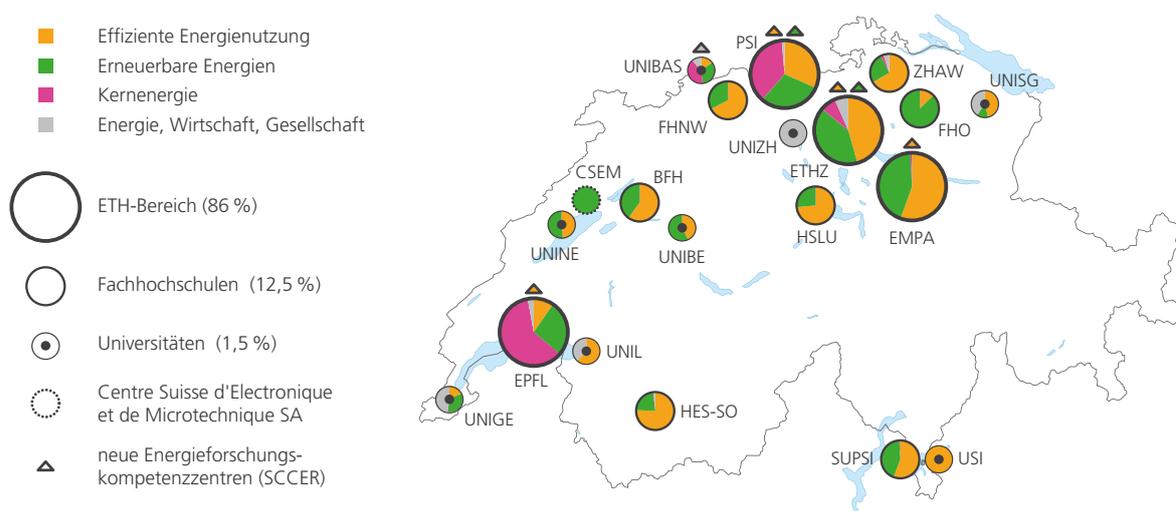


ENERGIEFORSCHUNG IN DER SCHWEIZ

Innovation ist ein wesentlicher Faktor für die Wettbewerbsfähigkeit einer Volkswirtschaft. Dass die Schweiz hierbei in der Top-Liga mitspielen kann, wird regelmässig mit hervorragenden Platzierungen in internationalen Vergleichen bewiesen. So steht die Schweiz auch 2014 wieder an der Spitze der innovativsten Nationen Europas, wie die Ausgabe 2013 des «Innovation Union Scoreboard» zeigt. Auch weltweit behauptet sie sich an der Spitze des «Global Innovation Index». Der Schlüssel zur Innovation liegt in der Forschung, die ganz am Anfang neuer Erkenntnisse und Ideen steht, aus denen innovative und konkurrenzfähige Produkte entstehen.

Um ihre Spitzenposition zu halten, muss die Schweiz ihre Forschungsleistung kontinuierlich überprüfen, bestehende Lücken erkennen und, wo nötig, Forschungskapazitäten ausbauen. Dies gilt nach dem Entscheid von Bundesrat und Parlament, aus der Kernenergie auszusteigen, in besonderem Masse für die Energieforschung. Nach dem Ereignis in Fukushima hat der

Bundesrat die Schweizer Forschungslandschaft analysiert und einen Aktionsplan zur Energieforschung erstellen lassen. In der Legislaturperiode 2013–2016 soll ein starker Ausbau der Forschungskapazitäten im Rahmen von sieben neuen Kompetenzzentren und an den Eidgenössischen Technischen Hochschulen vorangetrieben werden. Für die Förderung der Umsetzung von aussichtsreichen Forschungsideen in konkurrenzfähige und innovative Produkte und Dienstleistungen stehen jährlich rund 12 Mio. Franken zur Verfügung und die Mittel des Bundesamts für Energie im für Pilot- und Demonstrationsprojekte werden von jährlich rund 5 Mio. Franken auf 30 Mio. Franken aufgestockt. Schliesslich wurden neue Nationale Forschungsprogramme (NFP) mit einem Fördervolumen von 45 Mio. Franken über fünf Jahre dem Thema Energie gewidmet. Nach dem kontinuierlichen Rückgang der Ausgaben der öffentlichen Hand im Bereich der Energieforschung seit den frühen 1990er Jahren hat ab 2006 ein Umkehrtrend eingesetzt, der sich in den nächsten Jahren fortsetzen wird. (smr)



Aufwand in den vier Forschungsbereichen «Effiziente Energienutzung», «Erneuerbare Energien», «Kernenergie» und «Energie, Wirtschaft, Gesellschaft» an verschiedenen Schweizer Hochschulinstitutionen (Daten 2011). Im ETH-Bereich (ETH Zürich und Lausanne, Empa, PSI, Eawag und WSL) läuft der grösste Anteil der Schweizer Energieforschungsaktivitäten (86 %), gefolgt von den Fachhochschulen (12,5 %) und den kantonalen Universitäten (1,5 %).



EFFIZIENTE ENERGIE NUTZUNG

Eine effiziente Energienutzung ist für das Erreichen der in der «Energierstrategie 2050» des Bundes vorgesehenen Ziele von grösster Bedeutung. Bundesrat und Parlament haben dies erkannt: In den nächsten vier Jahren sollen mit 72 Millionen Franken sieben neue Schweizer Kompetenzzentren entstehen – vier davon im Bereich der effizienten Energienutzung. Damit werden die Forschungskapazitäten in den Bereichen

Netze, Gebäude und Industrie, Mobilität und Speichertechnologien wesentlich gestärkt. In allen diesen Bereichen werden vorhandene Potenziale heute bei weitem noch nicht ausgenutzt. Die Energieforschung soll helfen, diese Potenziale zu identifizieren und zu ihrer Ausschöpfung technisch realisierbare und wirtschaftlich tragbare Lösungen zu finden. (smr)





Keine Angst vor leeren Batterien

Neben vielen Vorteilen von batterieelektrischen Fahrzeugen – eine hohe Effizienz des Antriebsstranges, keine lokalen Emissionen, eine bestehende Infrastruktur für Elektrizität etc. – bilden lange Ladezeiten und eine limitierte Reichweite auf Grund der geringen Energiedichte von Batterien grosse Herausforderungen. Ergänzende, kleine Generatoren – sogenannte «Range-Extender» –, welche die Batterie im Fahrzeug aufladen, können da Abhilfe schaffen. Für solche Konzepte existieren verschiedenste technische Ansätze basierend auf Diesel-, Otto- und Wankelmotoren oder auf Mikrogasturbinen. Als Alternative bietet sich der Einsatz einer Brennstoffzelle an, die Wasserstoff als chemischen Energieträger direkt in Gleichstrom zur Aufladung der Batterie umwandelt. Ein solches Konzept wird in einem aktuellen Schweizer Projekt realisiert, um mittels eines besonders kompakten Brennstoffzellensystems die Reichweite eines elektrischen Kleinwagens zu verdoppeln.

Die mit der individuellen Mobilität verbundenen Treibhausgasemissionen zu reduzieren, stellt eine grosse Herausforderung dar. Eine Elektrifizierung des Antriebsstranges erlaubt eine Integration erneuerbarer Energiequellen und so eine Diversifizierung der Primärenergieträger. Als Energiespeicher für die Elektromobilität kommen Batterien oder mit Wasserstoff betriebene Brennstoffzellen in Frage. Brennstoffzellen wandeln chemisch gespeicherte Energie (Wasserstoff) direkt in Elektrizität um, mit dem Vorteil, dass Energie (Wasserstoffspeicher) und Leistung (Brennstoffzellengrösse) unabhängig voneinander skaliert werden können. Andererseits muss für den Einsatz von Brennstoffzellen auch Wasserstoff als Energieträger bereitgestellt werden, was einer zusätzlichen Infrastruktur bedarf.

Während Kleinstelektrofahrzeuge für den reinen Stadtverkehr sehr gut ausschliesslich batterieelektrisch

betrieben werden können, wird dies bei zunehmender Fahrzeuggrösse und grösserer Reichweite schwieriger. Hier erlaubt die Kombination eines grösseren Brennstoffzellensystems (60–100 kW) in Kombination mit einer Leistungsbatterie mit relativ kleiner Kapazität eine Elektromobilität auch für grosse Personenwagen mit Fahrleistungen (Geschwindigkeit, Reichweite), die jener konventioneller Fahrzeuge entsprechen. Für mittlere Reichweiten bietet sich die Hybridisierung einer grösseren Batterie mit einem kleineren Brennstoffzellensystem als «Range-Extender» an. Vorausgesetzt, dass Elektrizität und Wasserstoff nachhaltig bereitgestellt werden, haben solche Konzepte ein grosses Potenzial, einen Beitrag zur Minderung der Treibhausgasemissionen im individuellen Verkehr zu leisten. (obs)

[www.bfe.admin.ch/
forschungbrennstoffzellen](http://www.bfe.admin.ch/forschungbrennstoffzellen)
[www.bfe.admin.ch/
forschungwasserstoff](http://www.bfe.admin.ch/forschungwasserstoff)



Die Integration eines Brennstoffzellensystems als «Range-Extender» in einem Kleinfahrzeug stellt sowohl mechanisch als auch elektrisch eine grosse Herausforderung dar.

Während des Jahres 2013 hat das Schweizer Unternehmen «Belenos Clean Power» beschlossen, eine neue Wasserstoff-Luft-Brennstoffzelle zu entwickeln und die hocheffiziente Wasserstoff-Sauerstoff-Technologie für stationäre Anwendungen zu nutzen. In nicht einmal sechs Monaten wurde ein neues Wasserstoff-Luft-Brennstoffzellensystem entwickelt, zusammengebaut und erfolgreich getestet, dies vorwiegend mit Automobilkomponenten und -steuerungen. Bereits zwei Monate später war diese 10-kW-Brennstoffzelle vollständig in einen serienmässigen, jedoch auf elektrischen Antrieb umgerüsteten Fiat 500 integriert. Das Plug-In-Hybridfahrzeug erreichte mit der Wasserstoff-Batterie eine rekordverdächtige Autonomie von mehr als 400 Kilometern und beweist mit den bisher in neun Monaten gefahrenen 33'000 Kilometern die Funktionalität der neuen Brennstoffzelle. Die auf dem Belenos-Entwicklungsgelände in Marin installierte Tankstelle lieferte den gesamten für die

Fahrttests notwendigen Wasserstoff. Der Einbau ins Fahrzeug und die Strassentests des kompletten Systems wurden mit Mitteln des Bundesamts für Energie gefördert. Zudem unterstützte die Kommission für Technologie und Innovation die Entwicklung des Brennstoffzellensystems mit integriertem Hochgeschwindigkeitskompressor, welche in Zusammenarbeit mit der Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne und der Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion des Kantons Waadt erfolgte. In einem nächsten Schritt gilt es, Partner zu finden und zusammenzuführen, die sich für die Kommerzialisierung der Brennstoffzelle für Nischenanwendungen mittlerer Grösse interessieren.

Angesichts der Fortschritte im Batteriebereich und der möglichen potenziellen Synergien mit der Swatch Group hat Belenos beschlossen, sich auf die Entwicklung einer neuen Lithium-Batterie zu konzentrieren, um der bereits grossen Nachfrage gerecht zu werden.



Die thermische Verbesserung der Gebäudehülle ist von zentraler Bedeutung für die Verringerung des Primärenergieverbrauchs bestehender Gebäude.

Inspiration für die Gebäudesanierung

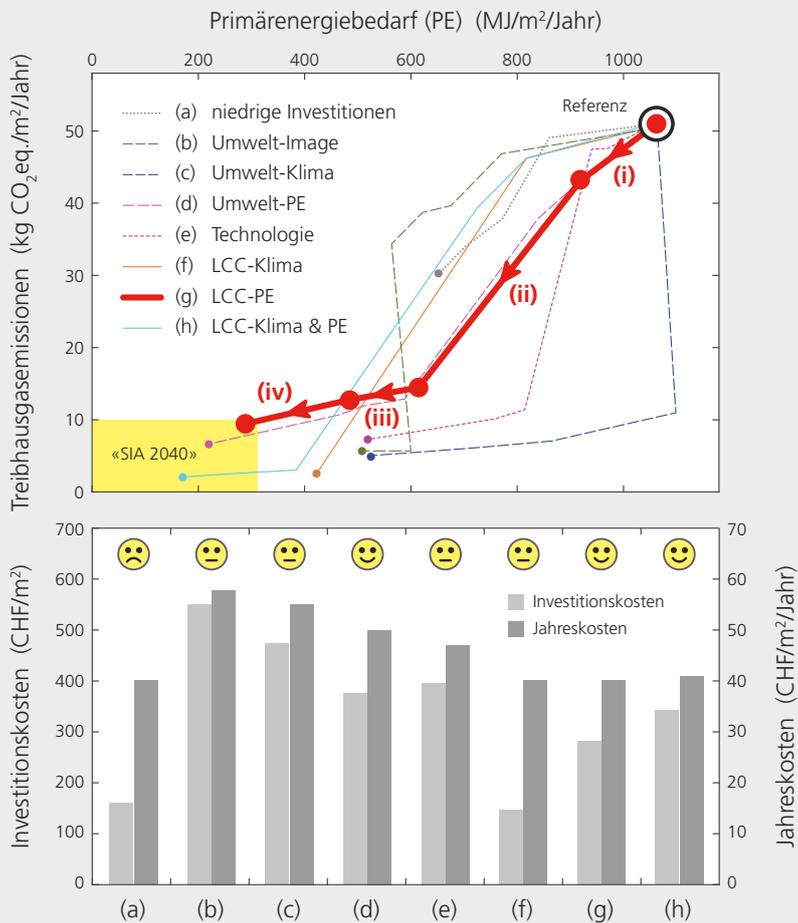
Die Verbesserung der Energieeffizienz des Gebäudebestands ist ein erklärtes politisches Ziel. Da zwei Drittel der Schweizer Bevölkerung in Mehrfamilienhäusern leben, sind kosteneffiziente Sanierungsstrategien für diesen Gebäudetyp von besonderer Bedeutung. Solche Strategien wurden in einem aktuellen Projekt «INSPIRE» (Integrated strategies and policy instruments for retrofitting buildings) in internationaler Zusammenarbeit entwickelt.

Für den bestehenden Schweizer Gebäudepark ist die Identifizierung kostenoptimierter Erneuerungsstrategien und deren Beurteilung von zentraler Bedeutung, um eine grösstmögliche Reduktion von Energieverbrauch und CO₂-Emissionen zu bewirken. Im Projekt «INSPIRE» wurde hierzu ein für die Schweiz repräsentativer Mehrfamilienhaustyp untersucht. Die Entwicklung eines gleichnamigen Softwaretools erlaubt die Berechnung energetischer, ökologischer und ökonomischer Indikatoren, sowie die Entwicklung von Treibhausgasreduktions- und Primärenergieeffizienzstrategien von Gebäuden. Das Vorhaben wurde in europäischer Kollaboration durchgeführt

und wurde sowohl von der Europäischen Kommission, als auch von verschiedenen wichtigen Akteuren des nachhaltigen Bauens in der Schweiz unterstützt.

Das Hauptaugenmerk der Untersuchungen lag auf Mehrfamilienhäusern verschiedener Bauperioden. Wegen der besonderen Relevanz von fossilen Heizsystemen in bestehenden Gebäuden wurde dem Referenzgebäude ein solches zugrunde gelegt. Andere Heizsysteme wurden im Rahmen der Sanierungsstrategien berücksichtigt. Mit einer Expertengruppe aus der Immobilienbranche und der öffentlichen Hand wurden vier verschiedene Typen von Erneuerungsstrategien definiert, welche der

Vielfalt verschiedener Eigentübertypen und deren individuellen Präferenzen Rechnung tragen: investitionsaverser Typ, umweltfokussierter Typ, technologiefokussierter Typ, und ein auf Lebenszykluskosten optimierter Typ (LCC). Innerhalb dieser vier Strategietypen wurden acht konkrete Sanierungsstrategien definiert und die mit den verschiedenen Sanierungsmaßnahmen zu erreichenden Reduktionen des Primärenergieverbrauch und der Treibhausgasemissionen berechnet. Eine einzelne Strategie besteht aus verschiedenen Teilschritten, so zum Beispiel aus einer (i) Fassadensanierung, (ii) dem Ersatz einer Ölheizung durch einen Fernwärmeanschluss, (iii) dem Einsatz von hocheffizienten Haus-



Sanierungsschritte verbessern Primärenergieverbrauch (PE) und Treibhausgasemissionen (Klima) eines Gebäudes vom Referenzzustand in Richtung des Zielbereichs «SIA 2040». Die damit verbundenen Investitions- und jährlichen Kosten unterscheiden sich dabei stark (Smiley = «SIA 2040»-Zielerreichung).

haltsgeräten und einer effizienten Beleuchtung, sowie schliesslich (iv) der Installation einer solarthermischen und/oder einer Photovoltaikanlage (vergl. Grafik).

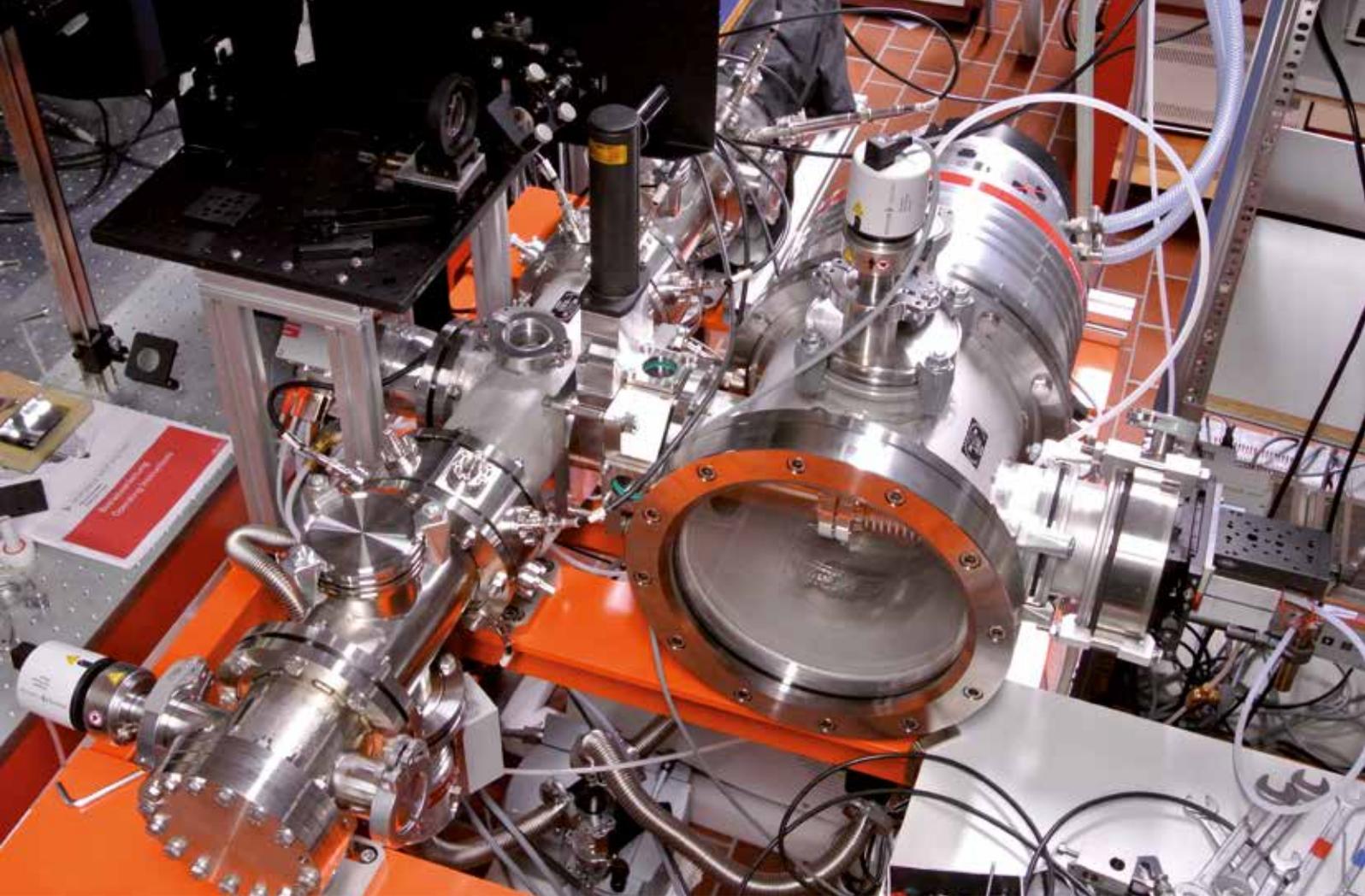
Alle in der Grafik aufgeführten Strategien (a) bis (h) ermöglichen eine deutliche Reduktion der Treibhausgasemissionen, jedoch werden nur mit drei von ihnen die Zielvorgaben «SIA 2040» des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenverbandes (SIA) erreicht. Die mit diesen drei Strategien verbundenen Investitions- und Jahreskosten unterscheiden sich jedoch stark. Interessanterweise zeichnen sich die auf eine Optimierung der Lebenszyklen ausgerichteten Sanierungsstrategien (g) und (h), durch eher moderate Investitionskosten aus. Beachtenswert ist auch Strategie (f), die bei geringen Investitions- und Jahreskosten sehr nahe an den Zielbereich herankommt.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass Eigentümer oder Bewirtschafter eines bestehenden Mehrfamilienhauses verschiedenste Sanierungsstrategien verfolgen können, um mehr oder weniger ehrgeizige Primärenergie- und Treibhausgasreduktionen zu erreichen. In der Regel führen bereits einige wenige Massnahmen zu einem beachtlichen Effekt mit vertretbaren Kosten. Während die CO₂-Ziele mit den meisten Strategien erreicht werden, stellen die Primärenergieziele jedoch eine echte Herausforderung dar.

In Bezug auf individuelle Massnahmen wurden mehrere Empfehlungen allgemeiner Natur festgehalten. So ist der Einsatz hocheffizienter Beleuchtung und Haushaltsgeräte fast ausnahmslos sinnvoll und rechnet sich meistens auch wirtschaftlich. Wird ein Gebäude mit Öl oder Gas beheizt,

so sind thermische Verbesserungen der Gebäudehülle (Wärmedämmung und neue Fenster) besonders kosteneffektiv. Beim Vergleich verschiedener Heizsysteme zeigt sich, dass sowohl Wärmepumpen, als auch die Nutzung von Fernwärme zu einer starken Verminderung der Treibhausgasemissionen und des Primärenergieverbrauchs führen. Im Gegensatz dazu kann ein Holzheizsystem zwar die CO₂-Emissionen verringern, jedoch nicht den Primärenergiebedarf. Die Nutzung photovoltaischer Stromerzeugung im Gebäude ist durchwegs empfehlenswert, wohingegen Solarthermie vor allem dort sinnvoll scheint, wo weder der Einsatz einer Wärmepumpe noch die Nutzung von Fernwärme möglich ist. (eca)

www.bfe.admin.ch/forschungsbaeude
www.energieschweiz.ch/inspire-tool



Experimenteller Aufbau am Laserlabor des Paul Scherrer Instituts (PSI) zur Photoelektronenspektroskopie.

Auf der Spur verbrennungsrelevanter Moleküle

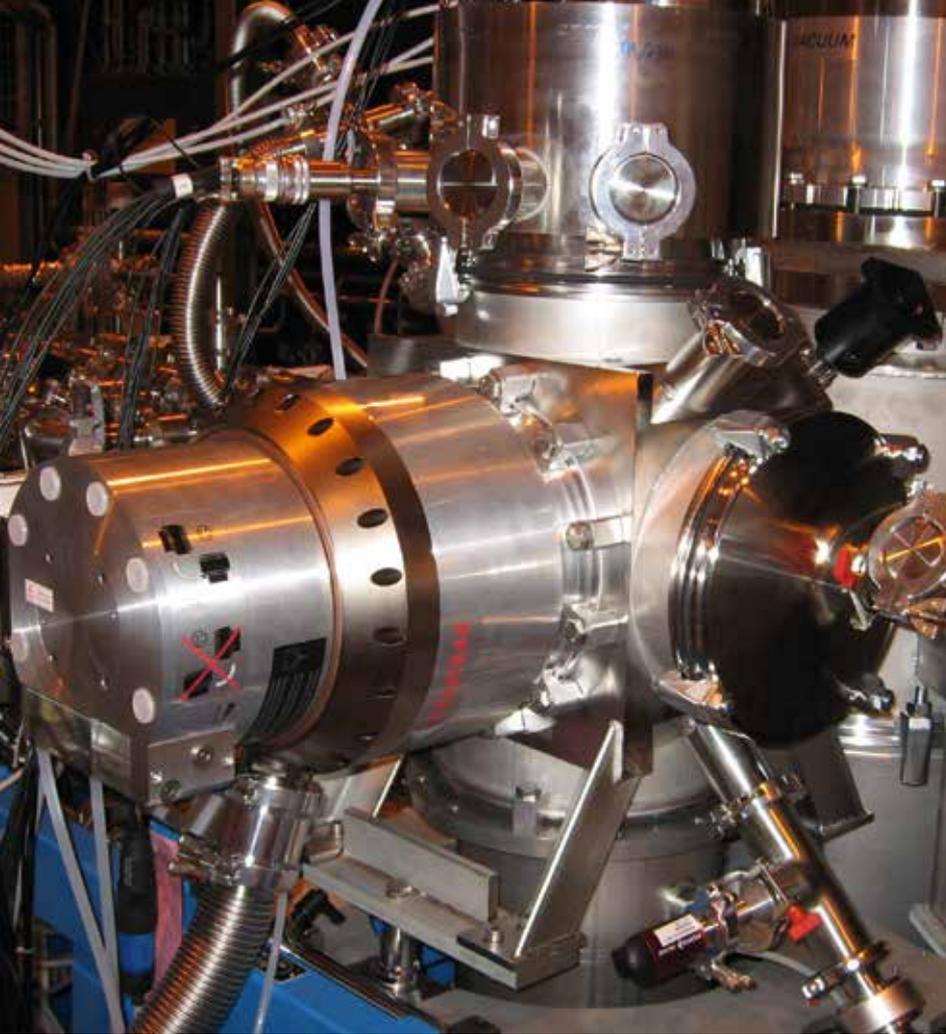
Die Verbrennung von fossilen Energieträgern in Verbrennungsmotoren, Gasturbinen oder technischen Feuerungen stellt nach wie vor den wichtigsten Energieumwandlungsprozess unserer Zeit dar. So tragen die über Verbrennung genutzten Primärenergieträger sowohl in der Schweiz (75 %) als auch weltweit (85 %) mit Abstand am meisten zum Gesamtenergiebedarf bei. Der Erforschung und Entwicklung sauberer und effizienter Verbrennungstechnologien kommt daher im Zusammenhang mit der Erreichung energie- und klimapolitischer Ziele eine grosse Bedeutung zu.

Zur Optimierung von Verbrennungsvorgängen – von der Gemischbildung über die Zündung bis zur Verbrennung – werden in hohem Masse numerische Simulationen eingesetzt. Die Auflösung und die Genauigkeit solcher Modellrechnungen wurden in den vergangenen Jahren erheblich verbessert. Dadurch hat die Qualität der thermochemischen Anfangsparamete-

ter einen immer stärkeren Einfluss auf das Endergebnis. Ungenauigkeiten in den verwendeten Grunddaten vervielfachen sich in den Berechnungsmodellen und bedürfen daher umfangreicher Variantenberechnungen und einer experimentellen Validierung.

Allgemein können Informationen zu einer Verbrennungsreaktion (Reaktionsgeschwindigkeiten, Ele-

mentarreaktionen, Aktivierungsenergien etc.) über die Untersuchung der Reaktionskinetik, d. h. des zeitlichen Ablaufs der chemischen Reaktionen gewonnen werden. Die daraus abgeleitete Charakterisierung der in einem Verbrennungsprozess involvierten Radikale (reaktionsfreudige Atome und Moleküle mit ungepaarten Elektronen) ist zu ungenau für detaillierte Modellrechnungen, wel-



Experimenteller Aufbau an der Schweizer Synchrotronquelle (SLS) am PSI zu spektroskopischen Koinzidenzmessungen von Photoelektronen und -Ionen. Die Untersuchungen dienen dazu, die thermochemischen Eigenschaften verbrennungsrelevanter Moleküle zu bestimmen, um mit diesen Informationen genauere Modellrechnungen komplexer Verbrennungsvorgänge zu ermöglichen.

che beispielsweise für die Bestimmung des Zündzeitpunktes eines brennbaren Gasmisches genutzt werden. Dies liegt unter anderem daran, dass die dazu notwendigen Experimente kaum über genügend grosse Temperatur- und Druckbereiche durchgeführt werden können, welche eine genaue Parametrisierung des Verbrennungsvorganges erlauben würden.

Mittels zeitlich aufgelöster spektroskopischer Untersuchungen können die zum Teil nur in sehr geringen Mengen gebildeten Radikale in einem Verbrennungsprozess direkt untersucht werden und deren thermochemische Eigenschaften – Bildungsenthalpien, Energiezustände etc. – bestimmt werden. Am Paul Scherrer Institut (PSI) wurden in den letzten Jahren umfangreiche Instrumentierungen ent-

wickelt und installiert, um solche Experimente durchführen zu können. Für die Spektroskopie werden neben verschiedenen Laserquellen auch die Schweizer Synchrotronquelle (Swiss Light Source) genutzt. Durch Spektroskopie mit monochromatischer Vakuumultraviolettstrahlung im Bereich 4 bis 30 eV und einer Bandbreite von wenigen meV konnte so beispielsweise der Dissoziationsmechanismus von Methanionen genau vermessen werden – gegenüber Standardexperimenten mit einer um einen Faktor 10 verbesserten Genauigkeit. Laserquellen werden für sogenannte «Pulse-Probe»-Experimente eingesetzt, um über winkelaufgelöste Photoelektronenspektroskopie mit sehr hoher zeitlicher Auflösung die interne Dynamik von Molekülen im Femtosekundenbereich ($1 \text{ fs} = 10^{-15} \text{ s}$) zu

studieren. Dazu werden Moleküle mit ultrakurzen Laserpulsen angeregt und die emittierten Photoelektronen zeit- und raum aufgelöst detektiert. Hierüber kann festgestellt werden, welche Teilreaktionen bei einem komplexen Verbrennungsvorgang ablaufen, was allein über eine Bestimmung der Spezieskonzentrationen in einer Flamme so nicht möglich ist. Dadurch lassen sich wichtigere und unwichtigere Reaktionswege identifizieren.

Die Forschungsarbeiten am PSI erfolgen teilweise in enger Zusammenarbeit mit europäischen Partnern. Die Infrastruktur ist auch externen Forschern für experimentelle Untersuchungen zugänglich. (obs)

www.bfe.admin.ch/forschungverbrennung



KURZ BERICHTET ...

Energiespeicher zur Netzstabilisierung

Der Kapazitätzzubau von fluktuierend verfügbaren Energiequellen (Wind, Photovoltaik) erhöht das Risiko für Netzinstabilitäten und die Wahrscheinlichkeit, dass konventionelle Generatoren bei Spannungs- und Frequenzschwankungen vom Netz getrennt werden müssen. Die Firma Alstom hat daher eine Technologie zur Verbesserung der Fähigkeit zum «Durchfahren» solcher Fehler entwickelt, wobei mittels der Einbindung von Hochleistungsenergiespeichern und Leistungshalbleiterschalterelementen Instabilitäten im Netz kraftwerkseitig kompensiert werden können. Damit wird eine Trennung des Generators vom Netz vermieden und so das Netz als Ganzes stabilisiert. (sig)

Neuartiger 2-Watt-Router ist 80 % effizienter

In der Schweiz sind derzeit über drei Millionen Modems und Router im Einsatz, die jährlich mehr als 230 GWh elektrische Energie benötigen. Die Swisscom hat ge-

meinsam mit einem Industriepartner einen Router entwickelt, der nicht einmal mehr 2 Watt benötigt. Dies entspricht etwa einem Fünftel des Leistungsbedarfs heute eingesetzter Geräte. Neben der Verwendung von sparsamsten Bauteilen wird das VDSL (Very High Speed Digital Subscriber Line)-Teilsystem des Routers in gebrauchsaarmen Zeiten nicht im Standby-Modus betrieben, sondern ganz ausgeschaltet. Ein zusätzliches, energieeffizientes GSM (Global System for Mobile Communications)-Modul stellt die Internetverbindung jederzeit sicher und überbrückt die Zeit, in der sich das VDSL-Teilsystem im Bedarfsfall wieder aufstartet. (mom)

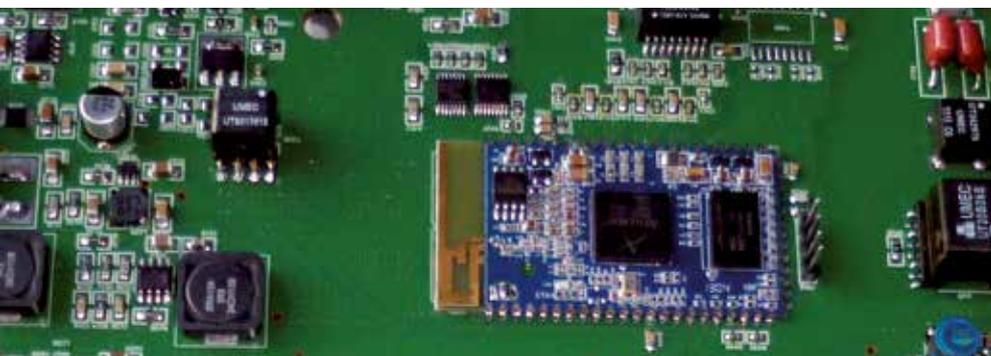
Staubbeladene Abwärme in Strom umwandeln

Das Zementwerk Untervaz der Holcim Schweiz AG produziert in einem riesigen Drehrohrofen jährlich 800'000 t Zement, wobei 75 GWh an elektrischer und 555 GWh an thermischer Energie umgewandelt werden. Ein grosser Teil dieser Energie steckt in der Abwärme und der Ei-



Die Abwärme eines Zementkraftwerks kann mittels einer Organic Rankine Cycle (ORC)-Anlage zur Stromproduktion genutzt werden.

genwärme des hergestellten Zements. Mittels einer Organic Rankine Cycle (ORC)-Anlage wird ein Teil dieser Energie wieder in Elektrizität umgewandelt. Die heisse Abluft der Anlage ist sehr stark mit Zementstaub beladen (ca. 7 t Staub/h), was eine grosse Herausforderung darstellt. Mit einem Wärmetauscher und einem Wasser-Zwischenkreislauf wird ein Teil der Wärme aus der Abluft ausgekoppelt und an das ORC-Kraftwerk übertragen, welches diese mit einer Leistung von rund 2 MW in Strom umwandelt. (pum)



Der Leistungsbedarf eines Routers beträgt heute zwischen 7 und 10 Watt. In einer Neuentwicklung wurde ein Router mit weniger als 2 Watt Leistung realisiert.



ERNEUERBARE ENERGIEN

Der Anteil erneuerbarer Energiebereitstellung nimmt weltweit kontinuierlich zu – insbesondere im Stromsektor, wo der Anteil erneuerbarer Energien für bestimmte Technologien jährliche Zubauraten im zweistelligen Prozentbereich aufzeigt: 27 % für Wind und 42 % für Photovoltaik. Andere Technologien wie Wasserkraft, Biomasse und Geothermie werden ebenfalls stark ausgebaut mit hunderten von GW an zusätzlicher Kapazität weltweit. Relativ zum gesamten globa-

len Primärenergiebedarf hingegen blieb der Anteil erneuerbarer Energie in den letzten 10 Jahren konstant bei rund 13 %. Im Bereich der erneuerbaren Energien fördert das BFE die Forschung und Entwicklung sowohl von Technologien, welche unmittelbar für eine nachhaltige Energieversorgung in der Schweiz eingesetzt werden können, als auch in Themengebieten, welche dem Aufbau einer industriellen Wertschöpfung in der Schweiz dienlich sein sollen. (obs)



Solare Exporttechnologie aus dem Tessin

Für die eigene Energieversorgung wird die Schweiz wegen der schwachen direkten Sonneneinstrahlung kaum auf konzentrierende Solartechnologie (CSP = Concentrated Solar Power) setzen. Nichtsdestotrotz erfolgen aus der Schweiz heraus seit Jahrzehnten wichtige Impulse zur Weiterentwicklung dieser Technologie. Insbesondere das Tessiner Unternehmen Airlight Energy geht hier völlig neue Wege, um die Kosten dieser Technologie weiter zu reduzieren.

Bereits seit den 80er-Jahren existieren grössere solarthermische Kraftwerke, bei denen lineare Parabolrinnenkonzentratoren die gerichtet einfallende Solarstrahlung bündeln und auf ein Absorbermedium konzentrieren. Über Wärmetauscher wird Wasserdampf erzeugt, welcher eine Dampfturbine antreibt und so Strom generiert. Im letzten Jahrzehnt wurden verschiedenste Konzepte neu- und weiterentwickelt. Gleichzeitig sind weltweit neue kommerzielle Kraftwerke realisiert worden mit einer Gesamtkapazität von rund 2,5 GW Ende 2012. Weitere 2,7 GW an Kraftwerksleistung befinden sich seit 2013 im Bau oder sind bereits am Netz. CSP-Kraftwerke werden je nach Auslegung für Spitzen- oder Grundlast mit thermischen Speichern kombiniert und können dadurch bis zu 5500 Vollaststunden pro Jahr aufweisen, oder werden zur Hybridisierung von konventionellen fossilen Kraftwerken ausgelegt.

Die Gestehungskosten von Elektrizität aus solarthermischen Kraftwerken konnte in den letzten Jahren stark reduziert werden. Nichtsdestotrotz steht die Technologie

durch billiges Erdgas, massiv fallende Kosten für Photovoltaik, ein allgemein wirtschaftlich schwieriges Umfeld und abrupte Änderungen in den politischen Rahmenbedingungen (Einspeisevergütung) stark unter Druck, die Kosten weiter zu reduzieren.

Das im Jahr 2007 gegründete Tessiner Unternehmen Airlight Energy geht hier gänzlich neue Wege. In den letzten Jahren wurde – in Zusammenarbeit mit der ETH Zürich und der Tessiner Fachhochschule SUPSI – ein grossskaliger Parabolrinnenkonzentratoren entwickelt mit einer Öffnungsweite (Apertur) von knapp 10 Metern, bestehend aus einem pneumatischen Spiegelsystem, welches von einer Leichtbetonstruktur getragen wird. Der Reflektor selbst besteht aus einer mit Aluminium beschichteten Folie, welche zusammen mit einer transparenten Deckfolie ein abgeschlossenes Volumen bildet, das unter leichtem Überdruck steht. Als Absorbermedium für die konzentrierte Solarstrahlung wird Luft eingesetzt, im Gegensatz zu synthetischem Öl bei konventioneller Parabolrinnentechnologie. Auf Grund der um drei Grössenord-





Thermischer Basaltspeicher zur Speicherung solarer Überschusswärme.

nungen geringeren Wärmespeicherzahl bildet der Einsatz von Luft eine grosse Herausforderung, bietet aber die Möglichkeit, mit höheren Temperaturen zu arbeiten und dadurch eine höhere Effizienz zu erzielen, und potenziell kostengünstigere Speichersysteme einzusetzen. Mittels eines sekundären Konzentrators und einer spiralförmig aufgebauten Absorberkavität mit hoher Absorberfläche bei

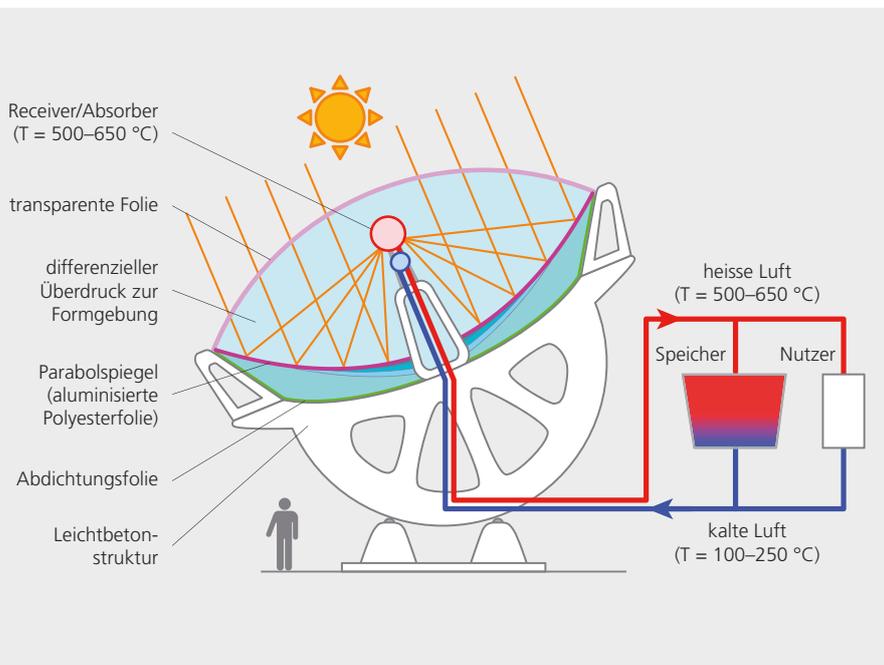
gleichzeitig kleiner Aperturfläche wird eine sehr hohe Kollektoreffizienz erreicht.

Aktuell befindet sich die erste kommerzielle Anlage dieser Technologie in Ait Baha (Marokko) im Bau. Bei der Anlage handelt es sich um einen solaren Booster mit einem Kollektorfeld mit 3 MW thermischer Leistung, welches darauf ausgelegt ist, zusammen mit der

Abwärme eines Zementwerks Inputwärme an eine bestehende 12-MW-Organic Rankine Cycle-Turbine zu liefern. Auftraggeber ist Ciments du Maroc (Italcementi Group). Überschüssige Solarwärme wird an einen unterirdischen Basaltspeicher abgeben, der auf bis zu 550 °C erhitzt wird. Der Speicher ist so dimensioniert, dass der Booster während 24 Stunden am Tag gleichmässig Energie (heisse Luft) liefern kann.

Ein grosser Teil der Anlage wird vor Ort mit Einbezug lokaler Unternehmen gebaut, was sich positiv auf die graue Energie dieser Technologie auswirkt. Airlight Energy arbeitet ebenfalls mit lokalen Hochschulen zusammen und wurde Ende 2012 mit dem marokkanischen Preis «InnoTherm» ausgezeichnet.

Nordafrika und insbesondere Marokko zeichnet sich als vielversprechender Markt für CSP-Technologie ab. Die marokkanische Agentur für Solarenergie (MASEN) will bis 2020 CSP-Kraftwerke mit einer Gesamtleistung von 2 GW zubauen. Aufbauend auf den Erfahrungen aus der Pilotanlage in Ait Baha bietet sich hier für ein Schweizer Unternehmen die Möglichkeit, an einem wachsenden Markt zu partizipieren. (obs)



Solarer Parabolrinnenkonzentrator von Airlight Energy mit einem pneumatischem Spiegel bestehend aus einer aluminisierten Polyesterfolie, welche mit einer transparenten Folie abgedichtet wird. Als Absorbermedium wird Luft eingesetzt.

www.bfe.admin.ch/forschungindustriesolar



Starker Eisansatz an einem Masten der Lukmanierleitung nach dem Sturm «Andrea» im Januar 2012.

Wenn Eis die Gemüter der Energiewirtschaft erhitzt

Eisansatz auf der Windschutzscheibe des Autos ist sehr lästig und vereiste Strassen sind eine grosse Gefahr im Verkehr. Die Bildung von Eis beschäftigt aber auch die Energiewirtschaft. So kann die Bildung von Eis zum Kollaps von Stromleitungen oder zu erheblichen Produktionsverlusten und Sicherheitsrisiken in Windparks führen.

An einer Stromübertragungsleitung entstehen durch Eisbildung am Leiterseil grosse Zusatzgewichte. Wird die Belastung zu gross, können Isolatoren beschädigt werden oder ganze Masten einknicken. Am Rotorblatt ei-

ner Windturbine beeinträchtigt das Eis die Aerodynamik und den Wirkungsgrad der Anlage. Wird die Eislast zu gross, muss eine Windturbine sogar abgeschaltet werden. In beiden Fällen kann sich lösendes Eis ein Sicherheitsrisiko für Passanten oder Wartungspersonal darstellen.

Die Eisbildung erfolgt, wenn unterkühlte Wassertröpfchen aus Nebel oder Wolken mit dem Wind auf eine Struktur transportiert werden und dort gefrieren. Gefriert das Wasser sofort, entsteht eine dem Wind zugewandte opake Fahne aus Raureif. Wenn sich



Eisansatz an der Windturbine auf dem Gütsch oberhalb Andermatt (Webcam-bild).

die Temperatur der Oberflächen nahe bei 0 °C befindet, gefrieren die auftreffenden Wassertropfen nicht vollständig. Es bildet sich eine Schicht aus flüssigem Wasser, welche vom Wind auf der Struktur verteilt wird und erst nach und nach gefriert. Dabei entsteht klares Eis.

Ein Blick auf die Vereisungskarte der Schweiz (www.wind-data.ch) zeigt, dass grosse Teile des Landes regelmässig von diesem Phänomen betroffen sind. Aus diesem Grund hat die Erforschung der Vereisung in der Schweiz einen wichtigen Stellenwert.

Im Jurabogen ist der Grossteil aller Windenergieprojekte von Vereisung betroffen. Um für Schweizer Projektentwickler bessere Grundlagen zur Verfügung stellen zu können, wird in St. Brais im Kanton Jura das Betriebsverhalten von zwei Windturbinen des Herstellers Enercon seit 2009 intensiv untersucht. Die Rotorblätter der beiden Windturbinen können bei Bedarf von innen mit Warmluft beheizt werden, um das Eis abzuschmelzen und damit auch im Winter die Stromproduktion zu sichern. Die Vereisungs-

bedingungen an diesem Standort wurden mit Hilfe von Kamerabildern bestimmt. Diese Information bildete die Grundlage einer Kosten/Nutzen-Analyse für den Einsatz einer Blattheizung. Es konnte gezeigt werden, dass der Einsatz von beheizten Rotorblättern an von Vereisung betroffenen Standorten zu signifikanten Ertragsgewinnen führt. Aus diesem Projekt resultierte inzwischen eine enge Zusammenarbeit mit Enercon, dem weltweit viertgrössten Hersteller von Windturbinen. Durch die Weiterentwicklung der Blattheizung konnte der Winterbetrieb der Windturbinen in St. Brais weiter optimiert werden.

Nicht nur Windräder sind von Vereisung betroffen, auch Stromleitungen haben mit diesem Phänomen zu kämpfen. An einer Stromleitung umringt das Eis die Leiterseile zylinderförmig wie ein Mantel. Dadurch entstehen sehr hohe Zusatzlasten. So kollabierte im Januar 2014 eine Stromleitung in Norwegen, wo ein Rekordgewicht von 69 Kilogramm Eis pro Meter Leiterseil bestimmt wurde. Im deutschen Münsterland knickten im November 2005 wegen starker Eislasten fast 70 Hochspan-

nungsmasten ein. Eine Viertelmillion Menschen war damals ohne Strom.

In diesem Zusammenhang beschäftigt sich ein aktuelles Schweizer Projekt mit der Optimierung des Betriebs von Freileitungen aus meteorologischer Sicht. Ein wichtiger Bestandteil bildet dabei die Untersuchung der Vereisung. Für die Überwachung der Leitungen wurden an fünf Standorten im Jura und in den Alpen automatische Kameras direkt an die Masten der Stromleitungen befestigt. Aus den Bildern dieser Kameras werden wichtige Erkenntnisse über die Häufigkeit und die Intensität der Vereisung gewonnen. Livebilder bilden zudem einen festen Bestandteil der Betriebsführung der Leitungen. Zusätzlich werden für die gleichen fünf Standorte mittels Wettermodellen Vorhersagen der Vereisung für den nächsten Tag erstellt. Allgemein dienen diese Untersuchungen dazu, den Betrieb von vereisungsgefährdeten Stromleitungen in Zukunft noch sicherer zu machen. (*mak/mom*)

www.bfe.admin.ch/forschungnetze
www.bfe.admin.ch/forschungwind



Baustelle des Geschiebeumleitstollens des Stausees Solis an der Albula in Graubünden.

Speicherverlandung an alpinen Wasserkraftanlagen

Die Erwärmung der Erdatmosphäre hat vielerlei Auswirkungen auf die Wasserkraftnutzung im alpinen Raum. So ändert sich die zeitliche Verteilung der natürlichen Abflüsse und die alpinen Speicher verlanden infolge des Gletscherrückgangs zunehmend stärker. Gleichzeitig benötigt der Schweizer und europäische Strommarkt zusätzliche Speicher- und Spitzenstromkapazitäten, die mittels der Wasserkraft bereitgestellt werden können.

Die Klimaänderung hat vielfältige Auswirkungen auf die Rahmenbedingungen für die Wasserkraftnutzung im alpinen Raum: durch die generelle Erwärmung steigt die Schneefallgrenze an, der Niederschlag fällt bis in höhere Lagen als Regen und fließt direkt ab. Zudem schmilzt der Schnee in höheren Lagen früher als bis anhin. Da die natürliche Zwischenspeicherung des Niederschlags in

Form von Schnee und Eis reduziert wird, müssen natürliche und künstliche Wasserspeicher diese Rolle verstärkt übernehmen. Die generelle Erwärmung bewirkt auch einen Rückgang der Gletscher und das Auftauen von Permafrostböden. Eine verstärkte Erosion durch Wasser und Wind führt zu mehr Geschiebe und feinkörnigen Schwebstoffen in Flüssen und Speicherseen mit einer intensiveren Verlandung.

Diese Veränderungen realisieren sich sukzessive und über Jahrzehnte hinweg. Gleichzeitig ist der europäische und der Schweizer Strommarkt grossen Anpassungen unterworfen, bedingt durch den massiven Ausbau der regenerativen Energien. Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke werden auch künftig von grosser Bedeutung für die Stromversorgung der Schweiz und für das Zusammenspiel mit ihren europäischen Nachbarländern



Abrasionsschäden an einem Pelton-Laufrad auf Grund von hohem Schwebstoffgehalt im Triebwasser.

bleiben. Dabei sind vielerlei Fragen zu klären: Gibt es genügend Speicher? Können diese erweitert werden, und wie sollen diese künftig bewirtschaftet werden? Welche Auswirkungen sind auf Grund von Verlandungen zu erwarten und wie kann man diesen entgegenwirken? Kann die Wasserkraft die im Rahmen der «Energierategie 2050» an sie gestellten Erwartungen erfüllen?

Durch die langsam fortschreitende Verlandung der Speicher und bei gleichzeitig steigenden Anforderungen an den Speicherbetrieb müssen Speicher zukünftig wesentlich intensiver bewirtschaftet werden. Häufiger als in der Vergangenheit werden diese maximal gefüllt und so tief wie möglich entleert. Bei tiefer Absenkung können sich Einlaufwirbel bilden, über welche Luft in die Druckleitungssysteme eingeblasen wird. Solche Luftblasen führen zu Störungen und Instabilitäten in den Leitungssystemen. Grundlegende Untersuchungen zeigen auf, unter welchen Bedingungen sich solche Wirbel ausbilden, welche Luftmengen dabei eingeblasen werden, und wie solche Wirbel vermieden beziehungsweise eingeblasene Luftmengen

aus dem Leitungssystem wieder entfernt werden können. Ebenso wird erforscht, wie sich eine Intensivierung der Speicherzyklen – d. h. der Wechsel zwischen Pump- und Turbinenbetrieb – infolge des Schwebstoffgehalts des hin und her bewegten Wassers auf die Verlandungsprozesse in Speichern auswirkt. Diese Untersuchungen geben Hinweise, wie der Betrieb bestehender Speicher optimiert und ausgeweitet werden kann.

Es gibt verschiedene Wege, der Speicherverlandung entgegenzuwirken. So können beispielsweise über Umleitstollen Hochwässer mit starkem Geschiebetrieb gefasst und am Speicher vorbei geleitet werden. Solche Umleitstollen sind nur wenige Tage im Jahr in Betrieb, werden dabei aber extremen Belastungen durch das sehr schnell fließende Gemisch aus Wasser und Geröll ausgesetzt. Die Stollen müssen daher häufig inspiziert und repariert werden. Mehrere Forschungsprojekte befassen sich damit, wie diese optimal angeordnet und gebaut, und welche Materialien in den am stärksten beanspruchten Stellen als verschleissresistente Panzerung eingesetzt werden können.

Schwebstoffe im Triebwasser werden normalerweise mit Hilfe eines Sandfangs abgeschieden. Gelingt dies nur unzureichend, prallen diese mit sehr hoher Geschwindigkeit auf die Becherschaufeln der Peltonräder und verursachen Abrasionsschäden, was sich auf den Wirkungsgrad der Maschinen auswirkt. Die Laufräder müssen daher in bestimmten Abständen ausgebaut und überholt werden. Je härter und kantiger die im Wasser enthaltenen Schwebstoffe und je mehr davon im Wasser enthalten sind, umso häufiger müssen diese teuren und aufwändigen Massnahmen durchgeführt werden. Laufende Forschungsarbeiten fokussieren hier auf den Zusammenhang zwischen Schwebstoffgehalt und dem Fortschreiten der Abrasionsschäden. Zusätzlich wird untersucht, mit welchen Simulationsmodellen die Absetzvorgänge in Sandfängen am besten numerisch simuliert werden können, um später die Bemessungsgrundlagen für Sandfänge verbessern zu können. (*mom/jok*)

*[www.bfe.admin.ch/
forschungwasserkraft](http://www.bfe.admin.ch/forschungwasserkraft)*



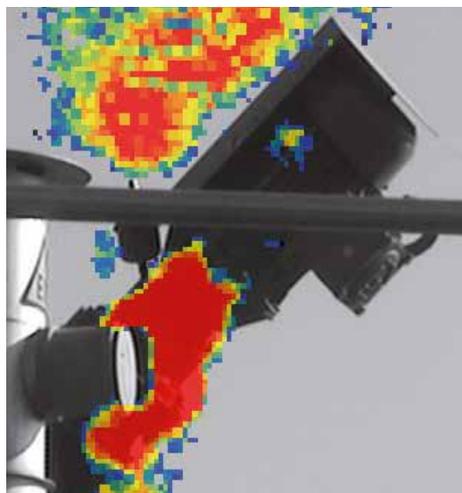
KURZ BERICHTET ...

Leckagen bei Biogas-anlagen

Methanverluste belasten die Umwelt, bedeuten wirtschaftliche Verluste und erhöhen das Sicherheitsrisiko einer Biogasanlage. Solche Verluste entstehen durch punktuelle Leckagen in der Abdeckung des Fermenters und bei Rohrdurchführungen, oder grossflächig bei Gärrestlagern und Vorgruben. Eine aktuelle Untersuchung zeigt, dass die Verluste aus Gärrestlagern zwischen 2 und 37 % des Methanrestgaspotenzials liegen, was ca. 2 % der Gesamtproduktion der Anlage entspricht. Die Verluste bei der Vorgrube liegen bei ca. 0,4 % der Gesamtproduktion. Durch die fachgerechte Planung, Ausführung und Wartung einer Anlage können die häufigsten Verlustquellen reduziert werden. Lange Verweilzeiten und zweistufige Anlagen verringern das Methanrestgaspotenzial und damit die Methanverluste. (hea)

Gemüse dank Erdwärme

Die Firma Grob Gemüse- und Landbau im thurgauischen Schlattigen hat die Umstellung der Wärmeversorgung von fossilen auf erneuerbare geothermische Energieträger mit viel Mut, Ausdauer und Einsatz von Ressourcen unternommen. Mit zwei rund 1200 bis 1400 m tiefen Bohrlöchern – wobei erstmals für die Geothermie in der Schweiz eine horizontale Bohrtechnologie zum Einsatz kam – wurde aufgezeigt, dass im Schweizer Muschelkalk im nördlichen Thurgau Heisswasser (60 °C) in genügender Menge vorhanden ist, um einen Teil der Wärmeversorgung in dem landwirtschaftlichen Grossbetrieb liefern zu können. (sig)



Gasverluste an einem Rührwerk einer Biogasanlage (Rot/blau = hohe/tiefe Methankonzentrationen; links: vor dem Einfetten, rechts: nach dem Einfetten).

Effiziente Dünnschicht-solarzellen

Der Wirkungsgrad verschiedener Solarzellentechnologien stellt seit jeher einen der wichtigsten Leistungsindikatoren dar. Sogenannte CIGS-Solarzellen (CIGS = Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid) zeichnen sich gegenüber anderen Dünnschicht-solarzellen durch ein hohes Potenzial für hohe Wirkungsgrade aus. Weltweit werden grosse Entwicklungsanstrengungen unternommen, um die Effizienz von CIGS-Modulen in den Bereich polykristalliner Siliziummodule anzuheben. Die Schweizer Firma Flisom entwickelt hierzu in enger Zusammenarbeit mit der Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa) eine Anlage zur «Roll-to-Roll»-Produktion von CIGS-Modulen auf flexiblen Substraten. Neben einem hohen Wirkungsgrad zeichnet sich diese Technologie durch eine kurze Energierückgewinnungszeit und potenziell sehr tiefe Investitionskosten aus. (obs)



Die Empa gehört weltweit zu den führenden Labors im Bereich effizienter CIGS-Dünnschicht-solarzellen. Seit 1999 konnte der Wirkungsgrad in verschiedenen Entwicklungsschritten von rund 13 % auf über 20 % angehoben werden, wobei jeder Schritt einen weltweiten Rekordwert darstellt.



ENERGIE, WIRTSCHAFT, GESELLSCHAFT

Neben der Förderung der Technologieentwicklung im Energiebereich befasst sich das Bundesamt für Energie insbesondere auch mit ökonomischen, soziologischen, psychologischen sowie politologischen Fragestellungen über die ganze Wertschöpfungskette hinweg. Energiemärkte weisen verschiedene Unvollkommenheiten auf, was dazu führen kann, dass nur durch Intervention des

Staates volkswirtschaftlich effiziente Resultate möglich sind. Die sozio-ökonomische Forschung, welche die Grundlagen für die Energiepolitik bereitstellt, ist deshalb essentiell. Zweck ist es, gleichzeitig so verschiedene Ziele wie Versorgungssicherheit, Preiswürdigkeit und Umweltverträglichkeit zu erfüllen. (faa)





Wie beeinflusst Information den Elektrizitätsverbrauch?

Die «Energiestrategie 2050» sieht neben einer Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energien unter anderem eine Verringerung des Endenergie- und Stromverbrauches vor. Verschiedene Instrumente können verwendet werden, um diese Abnahme zu erreichen. Eines davon ist beispielsweise eine verbesserte Information der Verbraucher über ihren Stromkonsum.

In einer aktuellen Studie wurde das Nutzerverhalten in 5000 Haushalten – Kunden des Elektrizitätswerks der Stadt Zürich (ewz) – im Detail untersucht, um zu klären, ob und wie sich mittels zusätzlicher Information der Stromverbrauch reduzieren lässt. Die Teilnehmer wurden nach dem Zufallsprinzip in fünf Gruppen eingeteilt, die jeweils unterschiedliche Informationen über ihren Stromverbrauch erhielten. Eine Kontrollgruppe erhielt keinerlei Informationen, während einer zweiten Gruppe eine kontinuierliche und detaillierte Information über den eigenen Stromkonsum mittels einer «Smart Meter»-Anzeige vermittelt wurde. Diese erlaubte es den Haushalten, sich in Echtzeit über ihren Stromkonsum zu informieren. Eine weitere Gruppe bekam eine professionelle Stromberatung, und die letzten beiden Gruppen wurden in verschiedenen Masse über den Stromkonsum eines vergleichbaren Haushaltes informiert. Im Rahmen der Studie wurden die Stromzähler der Studienhaushalte über einen Zeitraum von 15 Monaten insgesamt acht Mal abgelesen.

Ergebnisse der Studie zeigen, dass der Stromverbrauch allein durch Information signifikant reduziert werden kann. Tatsächlich sinkt der Tageskonsum dank der «Smart Meter»-Anzeigen mittelfristig um rund 3,2 %. Der Rückgang beim Verbrauch lässt sich nicht nur unmittelbar nach Installation der «Smart Meter»-Anzeige, sondern auch im Verlauf der gesamten Beobachtungsphase feststellen. Zudem erlauben diese Anzeigen auch eine teilweise Verlagerung des Stromverbrauches in Niedertarifzeiten. Sozialer Wettbewerb führt hingegen nur zu geringen Einsparungen. Tatsächlich waren die Stromeinsparungen der beiden Gruppen, die über den Verbrauch eines Vergleichshaushaltes informiert wurden, am Ende der Beobachtungsperiode nicht signifikant. Die Häufigkeit der Rückmeldung scheint dabei eine wichtige Rolle zu spielen. Das Projekt unterstreicht die Wichtigkeit eines zeitnahen, kontinuierlichen und detaillierten Feedbacks, um den Stromverbrauch signifikant zu senken. (faa)

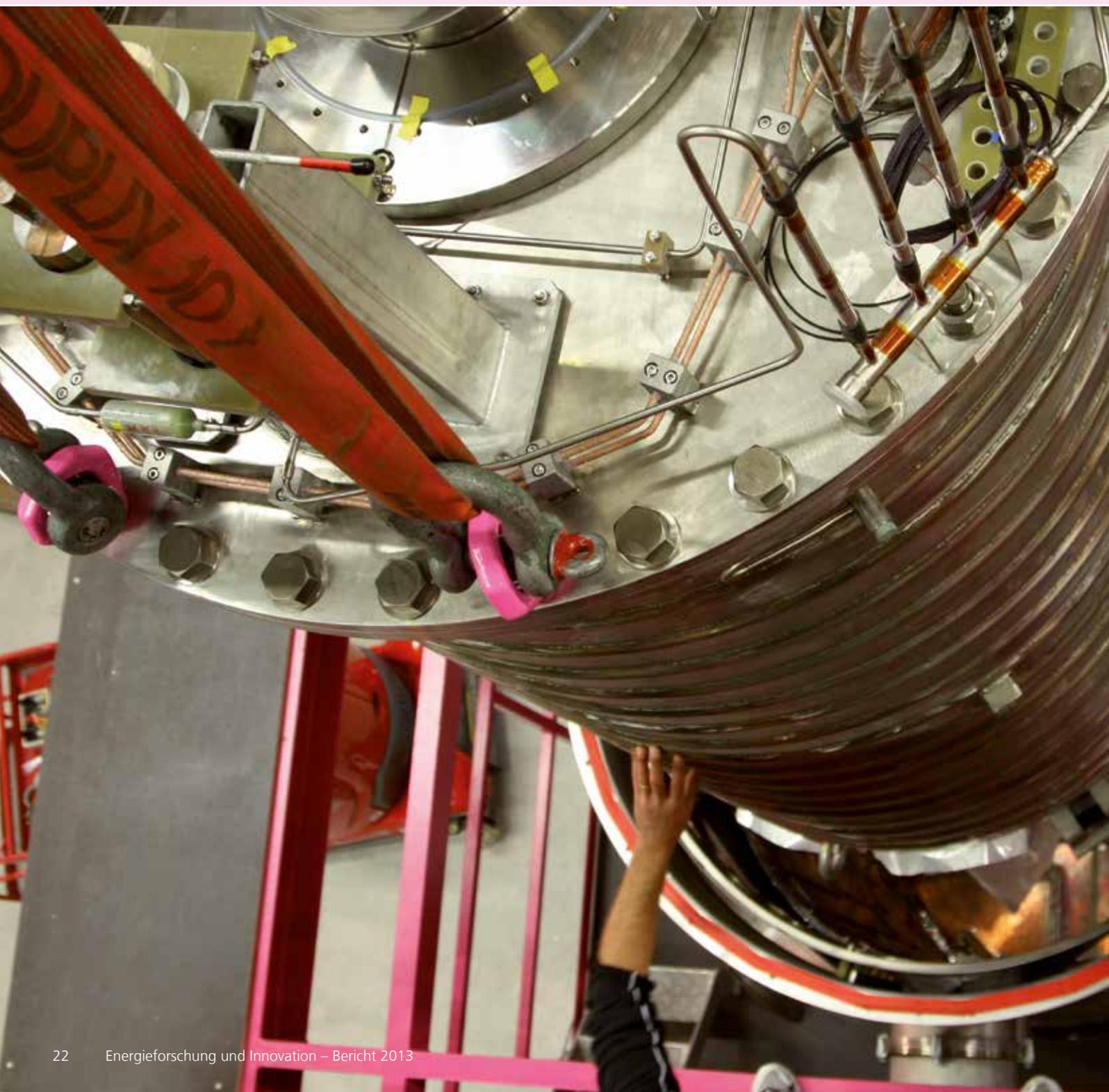
www.ewg-bfe.ch



KERNENERGIE

Die technologisch fokussierten Forschungsgebiete Kerntechnik und nukleare Sicherheit, Regulatorische Sicherheitsforschung und Kernfusion werden zum allergrössten Teil nicht direkt vom Bundesamt für Energie (BFE) betreut. Eine ausführliche Darstellung der Aktivitäten und Forschungsprojekte zu diesen Themen finden sich auf der Webseite des Paul Scherrer Instituts (<http://nes.web.psi.ch>), des Eidgenössischen Nuklearsicher-

heitsinspektorats (www.ensi.ch), sowie des Fusionsforschungszentrums an der EPFL (<https://crppwww.epfl.ch>). Das BFE unterstützt hier direkt nur Forschungsaktivitäten an der Universität Basel, die im Zusammenhang mit dem Fusionsreaktor ITER stehen. Im Bereich der Entsorgung radioaktiver Abfälle werden vom BFE verschiedene gesellschaftliche Forschungstätigkeiten des Bundes im regulatorischen Bereich koordiniert. (obs)





Radioaktive Abfälle und regionale Partizipation

Um die Interessen der Bevölkerung hinsichtlich der Standortwahl von geologischen Tiefenlagern in der Schweiz zu berücksichtigen, wurden in allen sechs potenziellen Standortregionen Partizipationsgremien (Regionalkonferenzen) gegründet, welche aus Vertreterinnen und Vertretern der betroffenen Gemeinden, betroffenen Organisationen sowie weiteren Einwohnerinnen und Einwohnern bestehen.

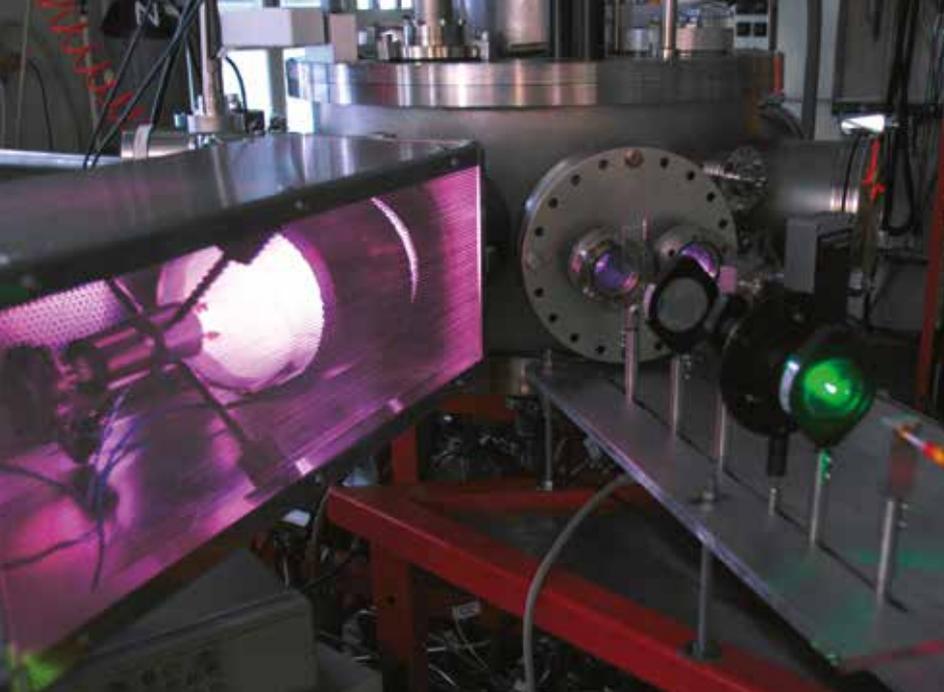
Im Rahmen der regionalen Partizipation wird die Möglichkeit geboten, regionale Anliegen in die Planung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle in der Schweiz einzubringen. Der Prozess der Bildung dieser Gremien zwischen 2009 und 2011 wurde von einer Begleitforschung beleuchtet, welche im Jahr 2013 abgeschlossen und im Januar 2014 publiziert wurde. Hierzu erfolgten eine ausführliche Dokumentenanalyse und qualitative Interviews mit den am Aufbau der Partizipation Beteiligten. Neben der Dokumentation des Aufbauprozesses soll dadurch ein Teil des Wissens und der Erfahrungen der involvierten Akteurinnen und Akteure aufbereitet und in den weiteren Verlauf der Partizipation aufgenommen werden. Die wichtigsten Erkenntnisse wurden in Form von «Lessons Learned» zusammengefasst, woraus entsprechende Empfehlungen abgeleitet worden sind.

In der Kommunikation wurden verschiedene Punkte angesprochen, welche verbessert werden könnten. So ist von Anfang an das Ziel der Partizipation klar und einfach verständlich zu vermitteln. Zudem sollten während des Prozesses die Rollen und Aufgaben der Beteiligten genau definiert werden. Den

Weg, wie diese Ziele zu erreichen sind, soll jedoch bewusst für die Regionen offen gelassen werden. Empfehlenswert ist ebenfalls der Austausch von Erfahrungen zwischen den Regionen. Hinsichtlich der Zusammensetzung der Konferenzen zeigt sich, dass diese die verschiedenen Interessen ausreichend vertreten. Bezüglich soziodemographischer Faktoren ist die Zusammensetzung der Gremien hingegen nicht ausgewogen. So fehlen insbesondere junge Teilnehmende und Frauen. Um eine repräsentativere Bevölkerungsververtretung zu erreichen, müsste das Bewusstsein der Beteiligten betreffend Einbezug verschiedener Bevölkerungsgruppen geschärft, sowie eine gezielte Strategie und Kommunikationsmassnahmen erarbeitet werden.

Künftig ist neben der Lancierung der Begleitforschung zum zweiten Teil der Partizipation auch eine kleinere Studie zur Partizipation von Frauen und Jugendlichen bei technischen Langzeitprojekten geplant. Dadurch sollen weitere Erkenntnisse gewonnen und in den laufenden Prozess eingebunden werden. (brs)

[www.bfe.admin.ch/
radioaktiveabfaelle](http://www.bfe.admin.ch/radioaktiveabfaelle)



Entwicklung von Spiegeln für den Experimentalfusionsreaktor ITER: Links (lila): Plasmaquelle zur Simulation der Bedingungen bei der Teilchenbestrahlung. Rechts (grün): Lichtquelle für die simultane Messung der Reflektion der Spiegel.

Spiegel für den Fusionsreaktor ITER

Eine alternative Energiekonversionstechnologie könnte die Kernfusion werden. In Cadarache (F) entsteht zurzeit der neuste Versuchsreaktor ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor). Ein internationales Team mit Beteiligung der Universität Basel entwickelt ein neues Mess- und Diagnosesystem zur Charakterisierung des Fusionsplasmas.

Im Fusionsreaktor herrscht ein raues Klima. Neutronen- und Ionenstrahlung sowie hohe Plasmatemperaturen stellen enorme Anforderungen an die verwendeten Materialien. Um das Plasma des Reaktors zu kontrollieren sind eine Vielzahl von Mess- und Diagnosesystemen notwendig. Aufgrund des intensiven Neutronenbeschusses ist kein direkter Sichtkontakt ins Innere des Reaktors möglich. Deshalb muss das Licht aus der Vakuumkammer über ein Spiegelsystem, das die hohen Temperaturen aushält, zu den Messstationen geleitet werden. An der Universität Basel werden neuartige Materialbeschichtungen erforscht, damit diese Primärspiegel ihre Aufgabe beim Start und Betrieb des Fusionsreaktors langfristig erfüllen können.

Die Entwicklung ebendieser Mess- und Diagnosesysteme stellt deshalb auch einen wesentlichen Schlüssel

für das Gelingen des im Bau befindlichen Experimentalfusionsreaktors ITER dar. Mit dem Bau dieses ersten internationalen Experimentalfusionsreaktors und seiner umfangreichen Infrastruktur wird in Cadarache, im Süden Frankreichs, eine neue Phase der Fusionsforschung eingeleitet. Mit dem Bau des noch grösseren Reaktors DEMO soll im Anschluss das Ziel der wirtschaftlichen Energiekonversion verfolgt werden. Die ringförmige Vakuumkammer von ITER, Tokamak genannt, wird mit rund 50 unterschiedlichen Mess- und Diagnosesystemen ausgestattet sein, um das dort gebildete Plasma zu steuern, zu kontrollieren und zu optimieren. Optisch gemessen werden Grössen wie Temperatur, Plasmadichte, Plasmaausdehnung, Heliummenge und Konzentrationen von Verunreinigungen. Ausgangspunkt ist das gesamte, sichtbare und unsichtbare Spektrum des Lichts. Durch die hohen Energiedichten wird im Re-

aktor Material von den Wänden abgelöst. Als atomarer Staub wird es vom Plasma mitgerissen. Lagert sich dieser Staub auf den Diagnosespiegeln ab, wird deren Reflektivität vermindert und spektral verändert. Ein wirtschaftlich arbeitender Reaktor muss einen kontinuierlichen Betrieb gewährleisten. Hierfür sind die optischen Diagnoseinstrumente und somit intakte Spiegelsysteme unabdingbar. Bei der heute favorisierten Methode sollen die Spiegel ohne Ausbau durch Ionenätzen im Vakuum gereinigt werden. Zurzeit werden solche Reinigungsverfahren im Rahmen einer internationalen Zusammenarbeit in Basel getestet. (*mom/mal*)

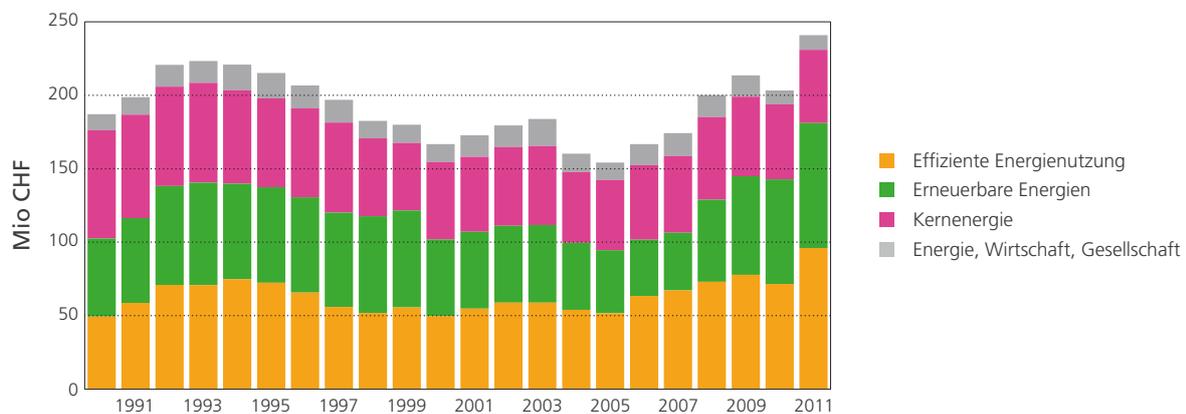
[www.bfe.admin.ch/
forschungskernenergie](http://www.bfe.admin.ch/forschungskernenergie)



ZAHLEN UND FAKTEN

Seit 1977 erfasst das Bundesamt für Energie (BFE) die Ausgaben der öffentlichen Hand für Forschungs-, Pilot- und Demonstrationsprojekte im Energiebereich. Die Erhebung erfolgt über eine Selbstdeklaration der Projektangaben, wobei die thematische Einordnung und eine abschliessende Prüfung der Projekte durch das BFE er-

folgen. Die tatsächlichen Ausgaben der öffentlichen Hand werden dadurch eher unterschätzt. Jährlich werden rund 1500 Projekte erfasst, geprüft und statistisch ausgewertet. Eine Übersicht der Datenerhebung ist unter www.energieforschung.ch veröffentlicht. (mak)



Langzeitüberblick über die für die Energieforschung aufgewendeten öffentlichen Mittel. Die Daten werden in Realwerten, d. h. teuerungskorrigiert für das Jahr 2012, dargestellt. Die Werte bewegen sich zwischen 0,3 und 0,65 Promille des Bruttoinlandsprodukts.

	ETH	SNF	KTI	BFE	ENSI	SBFI	EU	Kt./Gmd.	Andere
2011	138,1 (78,6 %)	4,5 (2,6 %)	20,3 (11,6 %)	23,6 (13,4 %)	2,2 (1,3 %)	0,4 (0,2 %)	28,9 (16,5 %)	8,9 (5,1 %)	14,0 (8,0 %)
2010	120,1 (68,4 %)	3,6 (2,0 %)	13,9 (7,9 %)	25,2 (14,4 %)	2,3 (1,3 %)	1,0 (0,6 %)	19,2 (10,9 %)	7,9 (4,5 %)	10,0 (5,7 %)

Herkunft der öffentlichen Mittel in Mio CHF für Forschungs-, Entwicklungs-, Pilot- und Demonstrationsprojekte. (ETH = Bereich: ETHZ, EPFL, Empa, PSI, Eawag, WSL; SNF = Schweizerischer Nationalfonds; KTI = Kommission für Technologie und Innovation; BFE = Bundesamt für Energie; ENSI = Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat; SBFI = Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation; EU = Europäische Union; Kt./Gmd. = Kantone und Gemeinden).

	2010	2011
Effiziente Energienutzung	71,5	96,0
Energie in Gebäuden	12,3	15,1
Verkehr	9,5	18,3
Akkumulatoren und Supercaps	2,7	1,7
Elektrizitätstechnologien & -anwendungen	10,1	12,9
Netze & Systeme	4,9	6,0
Wärme-Kraft-Kopplung	1,3	1,3
Brennstoffzellen	7,1	16,2
Verbrennung	12,8	11,5
Kraftwerk 2020 & CO ₂ -Rückhaltung und -Sequestrierung	7,3	6,4
Verfahrenstechnische Prozesse	3,6	6,6
Erneuerbare Energien	71,3	85,0
Sonnenenergie	33,5	41,8
Solarwärme und Wärmespeicherung	5,4	5,5
Photovoltaik	17,3	21,4
Solare Hochtemperaturprozesse	10,7	14,9
Wasserstoff	14,9	15,8
Umgebungswärme (inkl. Wärmepumpen, Kälte)	2,7	2,1
Biomasse & Holz (inkl. Abfälle, Klärschlamm)	9,2	12,7
Geothermie	6,8	5,9
Windenergie	2,0	3,5
Wasserkraft	2,2	3,2
Kernenergie	51,0	50,0
Kernspaltung (Fission)	28,2	26,6
Sicherheit	19,4	17,4
Radioaktive Abfälle	5,4	5,4
Vorausschauende Forschung	3,4	3,8
Kernfusion	22,8	23,4
Plasmaphysik, Heizmethoden	16,1	16,6
Fusionstechnologie	6,7	6,8
Querschnittsthemen	9,4	9,9
Energie, Wirtschaft, Gesellschaft (EWG)	7,6	6,8
Wissens- & Technologie-Transfer (WTT)	1,2	2,1
Allgemeine verwaltungsinterne Forschungscoordination	0,6	1,0
Gesamt	203,2	240,9

Aufwendungen der öffentlichen Hand für die anwendungsorientierte Energieforschung inklusive Pilot- und Demonstrationsprojekte in Mio. Schweizer Franken (Nominalwerte). Im Bereich der Kernfusion wird in erster Linie Grundlagenforschung betrieben, in Anlehnung an die internationale Praxis werden die Forschungstätigkeiten aber trotzdem zur Energieforschung gezählt. Interdisziplinäre Projekte werden dem jeweils dominierenden Forschungsbereich zugerechnet.



INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT

Die internationale Zusammenarbeit in der Energieforschung hat in der Schweiz einen hohen Stellenwert. Das Bundesamt für Energie (BFE) stimmt auf institutioneller Ebene seine Forschungsprogramme mit internationalen Aktivitäten ab, um Synergien zu nutzen und Doppelspurigkeiten zu vermeiden. Der Zusammenarbeit und dem Erfahrungsaustausch im Rahmen der internationalen Energieagentur (IEA) kommt eine besondere Bedeutung zu. Die Schweiz beteiligt sich über das Bundesamt für Energie an mehr als 20 Programmen der IEA (Implementing Agreements, www.iea.org/techno/index.asp). Auf europäischer Ebene wirkt die Schweiz aktiv in den Rahmenforschungsprogram-

men der Europäischen Union mit. Das BFE koordiniert hier auf institutioneller Ebene die Energieforschung mit den europäischen Aktivitäten durch Mitarbeit in entsprechenden Gremien: Industrieinitiativen des Europäischen Strategieplans für Energietechnologie (SET-Plan), European Research Area Networks (ERA-NET), Europäische Technologieplattformen, Gemeinsamen Technologieinitiativen (JTI), Euratom u. a. In gewissen Themenbereichen («Smart Grids», Geothermie) existiert eine intensive multilaterale Zusammenarbeit mit einzelnen Ländern. (*obs*)

www.energieforschung.ch, www.sbf.admin.ch

Bildnachweis:

Titelbild	Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Oberflächenstruktur einer Silizium-Heterojunctionsolarzelle, CSEM Neuchâtel
Seite 0	Höchstgelegene Windkraftanlage Europas beim Griespass mit einer Leistung von 2,3 MW, SwissWinds Development GmbH
Seite 2	Solarthermische Anlage in Yverdon-les-Bains mit Kollektoren von SRB Energy zur Bereitstellung von Prozesswärme, Colas SA
Seite 4,5	Belenos Clean Power Holding AG
Seite 6	Belenos Clean Power Holding AG
Seite 7,8	Bundesamt für Energie
Seite 9,10	Paul Scherrer Institut
Seite 11	Holcim AG (oben), Swissscom AG (unten)
Seite 13	Konzentrierendes Solarkraftwerk in Ait Baha (Marokko), Airlight Energy SA
Seite 14	Airlight Energy SA (oben), Bundesamt für Energie (unten)
Seite 15	Alpiq EnerTrans AG
Seite 16	Meteotest
Seite 17	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich (ewz)
Seite 18	Skat Consulting AG
Seite 19	Agroscope Reckenholz-Tänikon ART (oben), Empa (unten)
Seite 20	Solarer PlusEnergieBau (PEB) mit einer monokristallinen Dachanlage und einer amorphen Fassadenanlage, Heizplan AG
Seite 22	Das Zentrum für Plasmaphysikforschung CRPP der EPFL testet am PSI die supraleitenden Zuleitungskabel für den künftigen Fusionsreaktor ITER mit Hilfe der in europäischer Zusammenarbeit entwickelten 12,5-Tesla-Dipolmagneten (EDIPO), EPFL-CRPP
Seite 24	Universität Basel
Seite 25	Schmelzen von leicht radioaktiven Abfällen im CARLA-Schmelzbetrieb, Siempelkamp Nukleartechnik GmbH
Seite 27	Bundesamt für Energie
Seite 29	Innenansicht des CSP-Kollektors von Airlight Energy, Airlight Energy SA

Impressum:

Redaktion:
Dr. Stefan Oberholzer
Bundesamt für Energie
CH-3003 Bern
(stefan.oberholzer@bfe.admin.ch)

Einzelne Beiträge:

smr:	Dr. Rolf Schmitz (BFE)	jok:	Dr. Klaus Jorde (Skat Consulting AG)
obs:	Dr. Stefan Oberholzer (BFE)	hea:	Dr. Sandra Hermle (BFE)
eca:	Andreas Eckmanns (BFE)	faa:	Dr. Anne-Kathrin Faust (BFE)
sig:	Dr. Gunter Sidiqqi (BFE)	min:	Annina Michel (BFE)
mom:	Dr. Michael Moser (BFE)	brs:	Simone Brander (BFE)
pum:	Martin Pulfer (BFE)	mal:	Dr. Laurent Marot (Universität Basel)
mak:	Dr. Katja Maus (BFE)		



«Das Elektrochemie-Labor des Paul Scherrer Instituts (PSI) schätzt die Forschungsförderung des Bundesamts für Energie ausserordentlich, da damit direkt und unbürokratisch auch explorative Projekte im Bereich zwischen Grundlagen und Anwendung unterstützt und so Innovationen ermöglicht werden.»

Prof. Dr. Thomas J. Schmidt, Leiter des Labors für Elektrochemie (PSI) und Leiter des nationalen Energieforschungszentrums (SCCER) «Storage»

Bundesamt für Energie (BFE)
CH-3003 Bern

www.energieforschung.ch
www.bfe.admin.ch/cleantech