

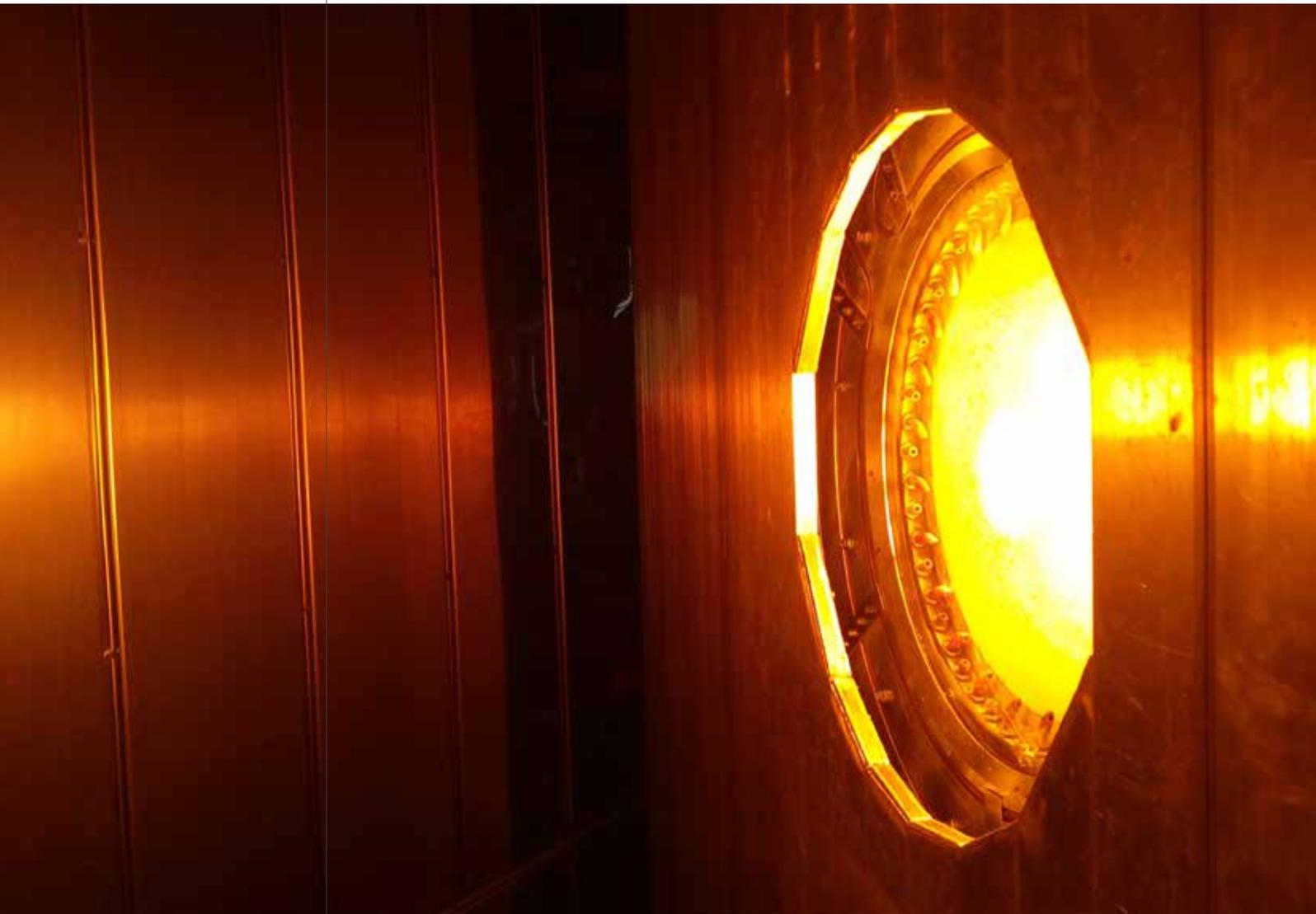


Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE

Energieforschung und Innovation

Bericht 2014



«Das Bundesamt für Energie, mit seinem fundierten und breiten Fachwissen und seiner Kenntnisse der Energiewirtschaft, ist ein hoch geschätzter Partner in der Innovationsförderung von Energiethemen. Wir profitieren von seiner Expertise sowohl in der regulären KTI-Förderung, als auch bei der Steuerung der neuartigen Swiss Competence Centers for Energy Research (SCCER).»

Walter Steinlin, Präsident der Kommission für Technologie und Innovation (KTI)



EDITORIAL

Die Energieforschung in der Schweiz deckt seit jeher die gesamte Breite der Innovationskette ab: von der Grundlagenforschung über anwendungsorientierte Forschung bis hin zu produktnahen Entwicklungen und Pilot- und Demonstrationsprojekten. Während sich einige Technologiefelder relativ rasch im Markt etablieren können, benötigen andere Energietechnologien längere Entwicklungszeiträume, die sich teilweise über Jahrzehnte erstrecken können. In der Schweiz übernimmt das Bundesamt für Energie (BFE) – neben anderen Förderstellen – eine wichtige Rolle bei der Koordination und Förderung der Energieforschung. Dazu gehören der Aufbau von Kompetenzen, die Bündelung und Abstimmung unterschiedlichster Partner, die internationale Koordination oder die direkte Unterstützung von Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekten. Alles mit dem Ziel, den Umbau unseres Energiesystems zu unterstützen und so die Strom- und Energieversorgung in der Schweiz langfristig sicherzustellen.

Die vorliegende Broschüre enthält eine Auswahl von Projekten, die durch die Technologieförderung des BFE mitgetragen werden.



Dr. Walter Steinmann
Direktor

INHALT

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

EFFIZIENTE ENERGIENUTZUNG

Thermoelektrische Generatoren: aus Wärme direkt Strom produzieren	7
Gasqualitätssensor steuert Brennverfahren im Gasmotor	9
Von der Sonne doppelt verwöhnt.....	11
Trafos haben noch Effizienzpotenzial.....	13
Wärmespeicher aus Eis.....	13

ERNEUERBARE ENERGIE

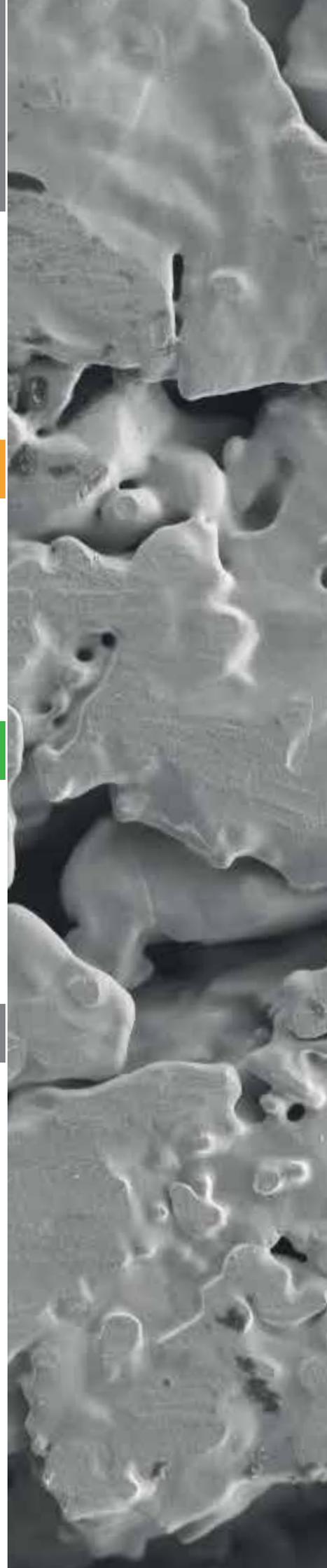
Wasserstoff aus Sonnenlicht	15
Die Tankstelle direkt beim Landwirt	17
Produktionslinie für innovative Hochleistungssolarzellen	19
Automatische Holzfeuerung und Feinstaubabscheider – ein funktionsfähiges Duo?	21
Verbesserte Erträge in der Windkraft.....	21

SOZIOÖKONOMISCHE ASPEKTE VON ENERGIE- TECHNOLOGIEN UND -SYSTEMEN

Auswirkungen dezentraler Stromspeicher und Nachfrage- steuerung auf die Entwicklung des Energysystems	21
Partizipation bei der Standortsuche für geologische Tiefenlager ...	23

Zahlen und Fakten	26
Internationale Zusammenarbeit.....	28

Eine Liste mit Projekten aus dem Energiebereich im Jahr 2014 findet sich im Zusatzdokument zu dieser Broschüre, welches in elektronischer Form unter www.energieforschung.ch abrufbar ist.



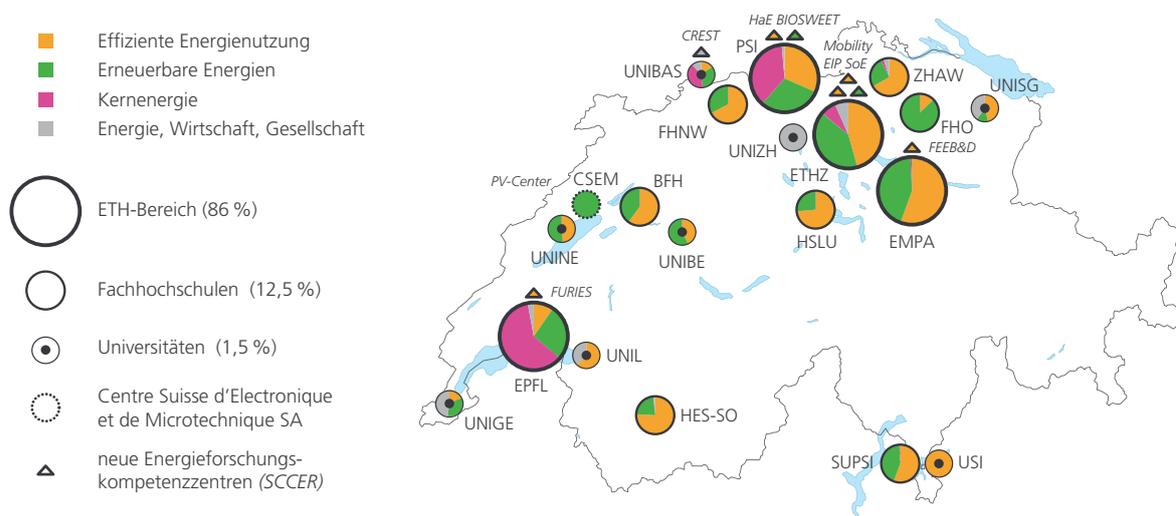
ENERGIEFORSCHUNG IN DER SCHWEIZ

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 stand die Schweiz 2014 zum vierten Mal in Folge 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 Forschungskapazitäten ausbauen. Im Zusammenhang mit der vom Bundesrat vorgeschlagenen Energiestrategie 2050 und vor dem Grundsatzentscheid, aus der Kernenergie auszustiegen, trifft dies in besonderem Masse für die Forschung und Entwicklung im Energiebereich zu. Nach dem Ereignis in Fukushima 2011 hat der Bundesrat die Schweizer Forschungslandschaft analysiert und einen

Aktionsplan zur Energieforschung erstellen lassen. In der Legislaturperiode 2013–2016 erfolgt ein starker Ausbau der Forschungskapazitäten im Rahmen von acht neuen Kompetenzzentren, den Swiss Competence Centers for Energy Research SCCER, und an den Eidgenössischen Technischen Hochschulen.

Die SCCERs sollen Lösungen für die technischen, gesellschaftlichen und politischen Herausforderungen im Zusammenhang mit der Energiewende erarbeiten. Im Bereich Energieeffizienz wurde dazu je ein SCCER zum Thema «Nachhaltige Gebäudetechnik mit Zukunft» (www.sccer-feebd.ch) sowie zum Thematik der Effizienzsteigerung in industriellen Prozessen (www.sccer-eip.ch) ins Leben gerufen. Der Ausbau der Stromproduktion aus erneuerbaren Quellen stellt neue Anforderungen an das elektrische Netz und bedarf neuer Möglichkeiten, Energie effizient speichern zu können. Diese Themenbereiche werden in einem SCCER zum Thema «Künftige Schweizerische Elektrizitätsinfrastruktur» (<http://sccer-furies.epfl.ch>) und «Wär-



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%).



ENERGIEFORSCHUNG IN DER SCHWEIZ

me- und Elektrizitätsspeicherung» (www.sccer-hae.ch) angegangen. Ein weiteres SCCER läuft zum Thema «Strombereitstellung» (www.sccer-soe.ch) in den Bereichen Geoenergie und Wasserkraft. Mit rund einem Drittel am Endenergieverbrauch kommt dem Bereich Mobilität eine besondere Bedeutung zu. Hierzu wurde das SCCER «Mobility» zur Erarbeitung effizienter Konzepte, Prozesse und Komponenten im Verkehr etabliert (www.sccer-mobility.ch). Ein zusätzliches SCCER beschäftigt sich mit der Nutzung von Biomasse zur Bereitstellung gasförmiger und flüssiger Treibstoffe sowie zur Herstellung von erneuerbarer Elektrizität und Wärme aus Biomasse (www.sccer-biosweet.ch). Weiter werden in einem SCCER ordnungspolitische Rahmenbedingungen und Anreizmechanismen im Zusammenhang mit der Energiestrategie 2050 untersucht (www.sccer-crest.ch).

Der Photovoltaik kommt sowohl international als auch national eine immer grösser werdende Bedeutung in einer auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Energieversorgung zu. Die nationale Energiestrategie sieht vor, dass 2050 knapp die Hälfte des Stromes aus neuen erneuerbaren Quellen über Photovoltaik produziert werden soll. Zu diesem Themenbereich wurde im Jahr 2013 vorgängig zu den SCCERs am Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique in Neuchâtel das Schweizer Zentrums für Photovoltaiksysteme (PV-center) etabliert (www.csem.ch/pv-center). Dieses hat zum Ziel, den Industrialisierungsprozess solarer Komponenten und Systeme zu beschleunigen, neue Generationen von PV-Zellen und -Modulen zu entwickeln und den Übergang zu einem nationalen Energiesystem zu begleiten, bei dem Solarstrom eine wesentliche Rolle spielen wird. Das Zentrum wird im Zeitraum 2013 bis 2016 durch einen Kredit des Bundes von 19 Millionen Franken unterstützt.

Die Förderung von erfolgversprechenden Ideen durch den Bund findet auf verschiedenen Ebenen statt. Die Energieforschung des BFE deckt dabei in erster Linie die anwendungsorientierte Forschung bis hin zur Ent-

wicklung von Prototypen und Pilot- und Demonstrationsprojekten ab, während der Fokus der Kommission für Technologie und Innovation (KTI) bei der Umsetzung von erfolgreichen Forschungsergebnissen in innovative Produkte und Dienstleistungen liegt, die sich im Markt behaupten können. Die von ihr unterstützten, in der Regel gemeinsamen von Hochschulen und Unternehmen durchgeführten Forschungs- und Entwicklungsprojekte tragen damit zu Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit von Schweizer Unternehmen bei. Mit der Etablierung der acht SCCERs wurden das Budget des BFE für Pilot- und Demonstrationsprojekte und jenes der KTI für die Projektförderung von energiebezogenen Projekten stark ausgebaut.

In der Folge der Ereignisse 2011 in Fukushima hat der Bundesrat den Schweizerischen Nationalfonds (SNF) beauftragt, Nationale Forschungsprogramme (NFP) zu den Themen «Energiewende» (NFP 70) und «Steuerung des Energieverbrauchs» (NFP 71) auszuschreiben. Während sich das NFP 70 mit den naturwissenschaftlich-technologischen Aspekten der Energiewende und der damit zusammenhängenden Umstellung auf ein neues Energiesystem der Schweiz befasst, untersucht das NFP 71 die sozialen, ökonomischen und regulatorischen Seiten der Energiewende und erforscht daher die Möglichkeiten, wie private und öffentliche Akteure veranlasst werden können, Energie effizient zu nutzen. Die Forschungsarbeiten der NFPs laufen von 2014 bis Ende 2018 und verfügen über ein Budget von insgesamt 45 Millionen Franken.

Mit Ausnahmen des Forschungsprogramms Radioaktive Abfälle führt das BFE keine eigenen Forschungsprogramme im Bereich Kernenergie. Die Forschungstätigkeiten im Bereich der Kernspaltung werden durch das Paul-Scherrer-Institut (PSI) wahrgenommen, jene im Bereich der Fusion durch die Eidgenössische Technische Hochschule Lausanne (EPFL). Schliesslich ist das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) zuständig für die Regulatorische Sicherheitsforschung.

Rolf Schmitz / Stefan Oberholzer

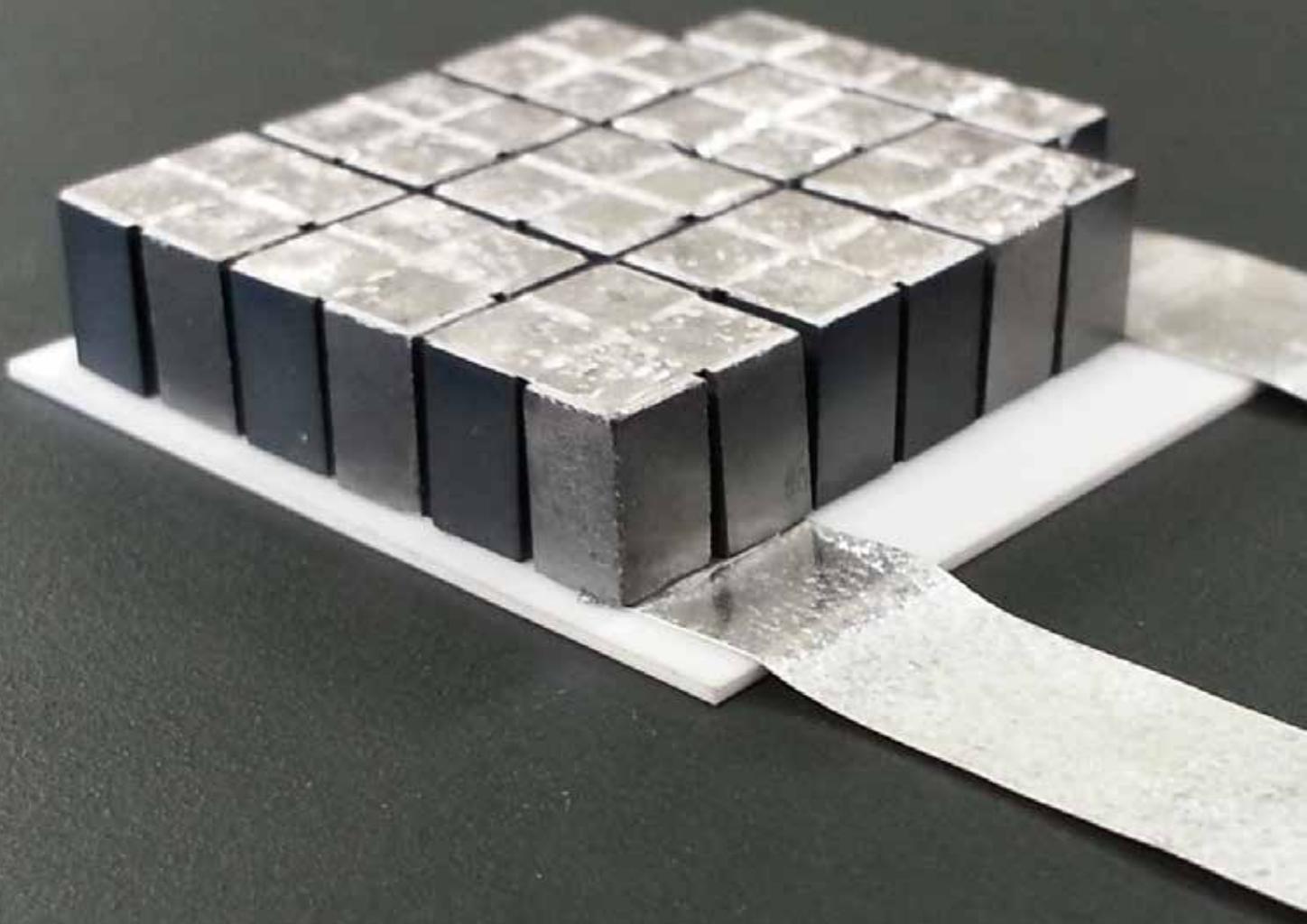




EFFIZIENTE ENERGIENUTZUNG

Eine effiziente Energienutzung ist für das Erreichen der in der «Energiestrategie 2050» des Bundes vorgesehenen Ziele von grösster Bedeutung. Bundesrat und Parlament haben dies erkannt: In den Jahren 2013 bis 2016 entstehen mit 72 Millionen Franken acht neue Schweizer Kompetenzzentren – fünf davon im Bereich der effizienten Energienutzung. Damit werden die Forschungskapazitäten in den Berei-

chen Netze, Gebäude, 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.



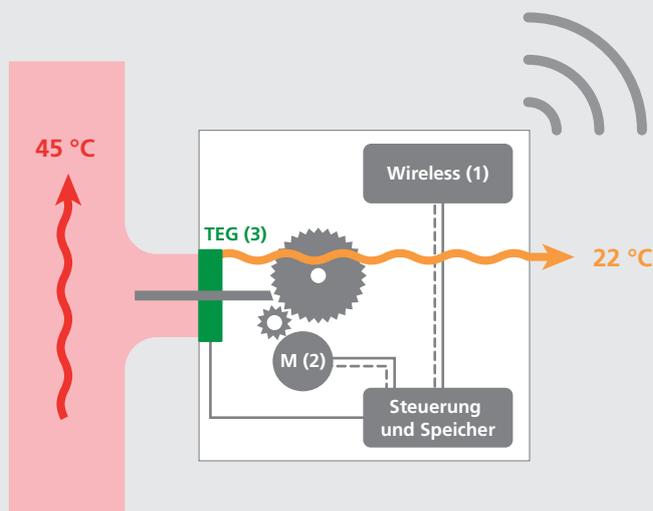
Thermoelektrische Generatoren: aus Wärme direkt Strom produzieren

Thermoelektrische Generatoren (TEG) können ohne den Einsatz beweglicher Teile aus Wärmeenergie direkt Strom erzeugen. Der zu Grunde liegende physikalische Effekt – der sogenannte Seebeck-Effekt – beschreibt das Entstehen einer elektrischen Spannung (Thermospannung) an der Kontaktstelle zweier elektrisch leitender Materialien, welche sich auf verschiedenen Temperaturniveaus befinden. Der Effekt ist reversibel und wird technisch genutzt, z. B. zur Kühlung bei lärmfreien Minikühlschränken. Dabei bleibt der Wirkungsgrad jedoch relativ bescheiden. Die Erzeugung von Strom aufgrund von Temperaturdifferenzen wird dann interessant, wenn Abwärme verwendet werden kann, die ansonsten ungenutzt an die Umgebung abgegeben wird. Das Potenzial an nicht genutzter, industrieller Abwärme liegt allein in der Schweiz bei rund 250 GWh.

Das Bundesamt für Energie initiierte 2008 eine Potenzialstudie zum Thema «Thermoelektrizität», in welcher die Thermoelektrik mit anderen konkurrierenden Technologien verglichen wurde. Eine Erkenntnis aus dieser Studie war, dass die verfügbaren thermoelektrischen Materialien bezüglich Leistungsfähigkeit und Temperaturstabilität erheblich verbessert werden müssen. Als Folge entstanden mehrere Forschungsarbeiten im Bereich der Materialforschung. Parallel dazu wurden erste Prototypen von thermoelektrischen Generatoren gebaut und getestet. Eine 2014 abgeschlossene Machbarkeitsstudie zur Nutzung grossindustrieller Abwärme, wie sie beispielsweise in Stahlwer-

ken und Giessereien anfällt, hat ergeben, dass eine thermoelektrische Nutzung durchaus interessant sein könnte. Es hat sich aber auch gezeigt, dass dazu relativ voluminöse Komponenten erforderlich sind, um Abwärmeleistung im Kilo- und Megawattbereich aufnehmen und thermoelektrisch nutzen zu können. Damit gekoppelt stellte sich die Frage der Wirtschaftlichkeit.

Die Thermoelektrik weist auch ein grosses Potenzial im Bereich «Energy Harvesting» auf. Gemeint ist damit die Möglichkeit, Energie unter Ausnutzung von Sonne, Wärme oder Bewegungsenergie mit Hilfe mobiler, netzunabhängiger Mini-Generatoren zu «ernten». Eine viel versprechende Anwendung ist ein «TEG»-Heizventil, welches zur be-



Automatisches Heizventil, dessen Energie zur Funksteuerung (1) und Antrieb (2) über einen thermoelektrischen Generator (3) bereitgestellt wird.

darfsgerechten Steuerung die erforderliche Energie aus dem Temperaturunterschied zwischen der Raumluft und dem durchströmten Radiator gewinnt. Klassische Heizventile – sogenannte Thermostate – sind weit verbreitet. Sie arbeiten zuverlässig, regeln aber die Raumtemperatur unter dem Gesichtspunkt der Energieeffizienz oft nicht optimal. So werden Wohnungen gewöhnlich über den ganzen Tag beheizt, obwohl die Bewohner gar nicht zu Hause sind. Auch bei längerer Ferienabwesenheit behalten die Heizkörper die Temperatur bei, sofern sich niemand die Mühe macht, die Thermostaten von Hand herunterzudrehen. Dies liesse sich vermeiden, wenn die Regelung der Raumtemperatur einem automatischen Steuerungssystem (Building-Management-System) übertragen würde. Solche Systeme regeln die Heizung «intelligent»: sind Bewohner in der Wohnung, liefert die Heizung die gewünschte Wärme, bei Abwesenheit hingegen wird die Temperatur abgesenkt. Building-Management-Systeme übertragen ihre Steue-

rungsbefehle per Funk an die Heizungsventile, welche diese Befehle dann automatisch umsetzen. In Verbindung mit automatischen Heizventilen können durch solche Systeme rund 25 % an Heizenergie eingespart werden – und dies ohne Komforteinbußen für die Bewohner.

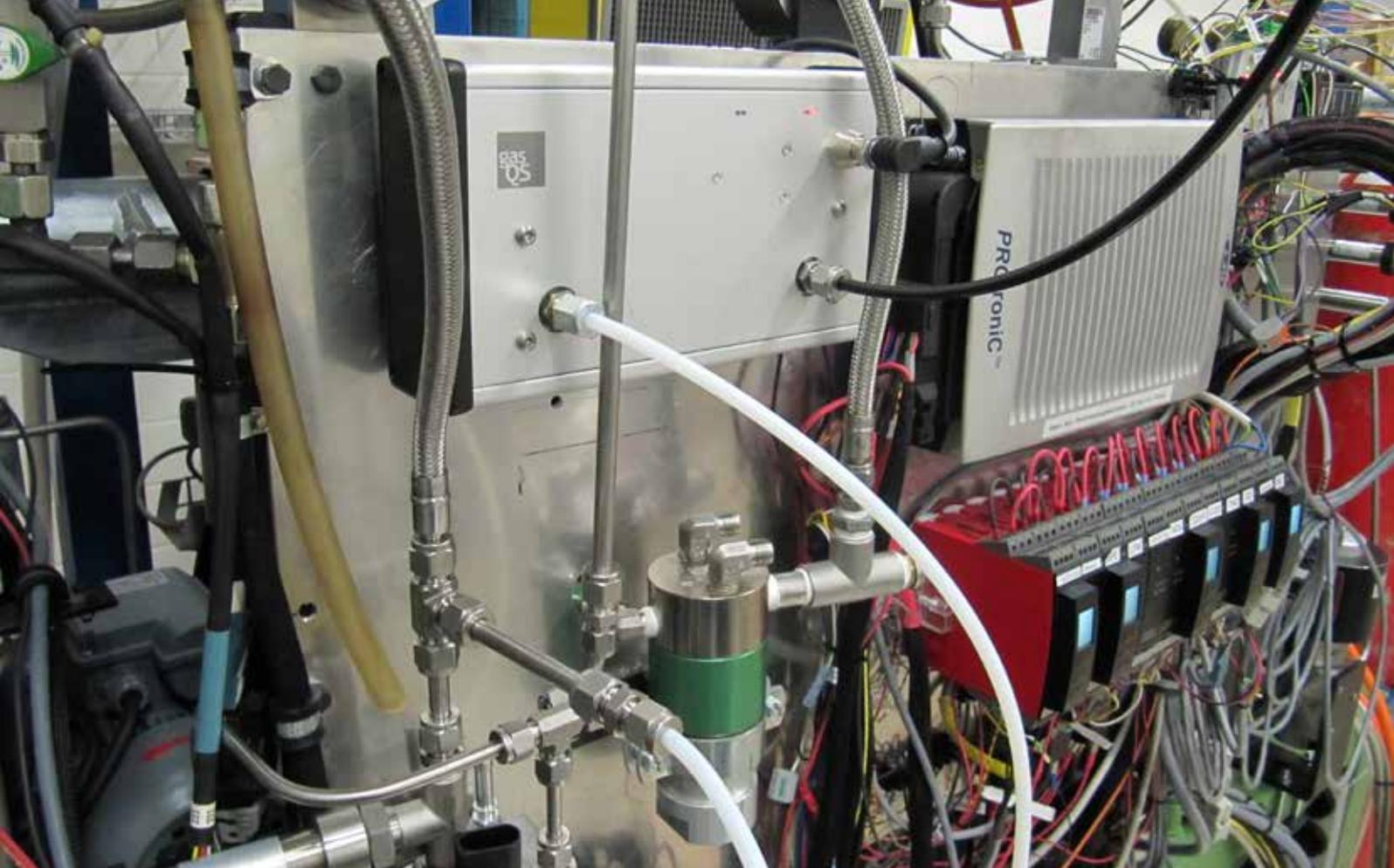
Ein automatisches Heizventil enthält im Vergleich zu einem herkömmlichen Thermostatventil zusätzliche Elemente (siehe Abbildung oben): (1) einen Funkempfänger, der das Steuerungssignal empfängt; (2) einen Motor, der den Radiatorzulauf bedarfsorientiert öffnet und schliesst. Funkempfänger und Motor brauchen Strom, der mittels dem thermoelektrischen Generator (TEG) (3) direkt im Heizungsventil produziert wird. Als Energiequelle nutzt der TEG die Temperaturdifferenz von 10 bis 40 °C zwischen Vorlauftemperatur der Heizung (35–60 °C) und der Raumtemperatur (20–25 °C).

Ein thermoelektrischer Generator für diese Anwendung könnte be-

reits Ende des nächsten Jahres zur Verfügung stehen. Die Zürcher Firma «GreenTEG» arbeitet zurzeit im Rahmen eines vom BFE geförderten Projektes daran, einen voll funktionsfähigen Prototypen zu entwickeln, der anschliessend in Serie produziert werden soll. Der Mini-generator muss hinreichend Strom liefern, um das Heizungsventil anzutreiben. Hierfür sollte der fingernagelgrosse TEG rund 100 bis 200 Mikrowatt liefern. Diese Leistung reicht für die direkte Versorgung eines automatischen Heizventils nicht aus. Der TEG speist daher einen elektrischen Zwischenspeicher (Supercap oder Akku) und das Ventil mit Funkempfänger und Motor ruft bei Bedarf die benötigte Leistung von diesem Zwischenspeicher ab.

Allgemein betrachtet verspricht die Thermoelektrik interessante, neuartige Anwendungen. Mit deren Erforschung dürfte in diversen Bereichen ein Beitrag zur Effizienzsteigerung geleistet werden.

Roland Brüniger / Michael Moser



Gasbeschaffenheitssensor im Projekt «GasPot» auf dem Motorenteststand der Empa.

Gasqualitätssensor steuert Brennverfahren im Gasmotor

Eine klopfende Zündung, ein stotternder Betrieb oder eine ungenügende Leistung eines Verbrennungsmotors kann durch die Qualität des Treibstoffs verursacht werden. Gasförmige Treib- und Brennstoffe gewinnen zunehmend an Bedeutung für den Antrieb von Fahrzeugen oder zur Stromerzeugung. Sie sind aus verschiedenen Quellen verfügbar und weisen unterschiedliche chemische Zusammensetzungen auf. Durch eine Detektion der Gasqualität und die Anpassung der Steuerung des Verbrennungsprozesses in Echtzeit können Leistungseinbußen vermieden werden. Mit einem neu entwickelten Gasqualitätssensor wurde dies in Prüfstandsversuchen erfolgreich demonstriert.

Erdgas wird in der Schweiz in der Qualität «H» (hoher Methananteil) geliefert, dessen Heizwert in einer engen Bandbreite gewährleistet wird. Die chemische Zusammensetzung kann aber trotzdem variieren. So weist Gas aus Russland 97 mol% Methan auf, während dies bei Gas aus der Nordsee nur 87 % sind. Dafür enthält letzteres grössere Anteile an Ethan, Propan und Koh-

lendioxid. Künftig wird vermehrt per Schiff zugeführtes verflüssigtes Erdgas (LNG) ins europäische Netz eingespeist, welches wiederum eine andere Zusammensetzung aufweist. Aber auch aufbereitetes Biogas oder elektrolytisch produzierter Wasserstoff wird vermehrt beigemischt. Direkt genutztes Biogas (ohne Aufbereitung) weist sogar fast laufend Schwankungen in der Zusammensetzung auf und

hat insbesondere einen sehr hohen Anteil an Kohlendioxid.

Die Unterschiede in der Gaszusammensetzung wirken sich auf den Zündverzug, das Klopfverhalten (Selbstentzündung), den Brennverlauf oder die Schadstoffbildung in den Abgasen aus. Je nach Verbrennungskonzept – beispielsweise eine stöchiometrische Betriebsweise mit Abgasrückführung oder ein



Gasqualitätssensor der Firma MEMS AG, welcher die Gaszusammensetzung in Echtzeit analysiert, um damit die Verbrennungsparameter in einem Gasmotor entsprechend zu regeln.

Magerbetrieb mit Luftüberschuss – sind die Auswirkungen unterschiedlich. Mögliche Folgen verschiedener Gaszusammensetzungen sind ein erhöhter Verschleiß und die Verschiebung des Schwerpunkts der Verbrennung, was zu einer deutlichen Verringerung des Wirkungsgrads führt. In modernen Fahrzeugmotoren kann ein Teil der Variabilität des Treibstoffs durch die Motorsteuerung aufgefangen werden. So kann Klopfen festgestellt und der Zündzeitpunkt entsprechend angepasst werden. Andere Auswirkungen können jedoch ohne Kenntnis über die genaue Gaszusammensetzung kaum korrigiert werden.

Um den Verbrennungsprozess unmittelbar an eine variierende Gaszusammensetzung anzupassen zu können, müssen die verbrennungsrelevanten Eigenschaften des Treibstoffs bekannt sein. Hierzu ist ein Messverfahren erforderlich, welches die Gasqualität beim Motor misst und diese Informationen an die Motorsteuerung weiterleitet. Ein entsprechendes Bauteil wurde gemeinsam von der Firma MEMS AG – ein Spin-off des ABB Forschungszentrums Schweiz – und der Empa entwickelt.

Mit einer Temperaturmessung über einen mikrothermischen Chip kann die Wärmeleitfähigkeit, die spezifische Wärmekapazität und die Dichte des Gases bestimmt werden. Mit einer Düse wird zudem das spezifische Volumen gemessen. Über den Abgleich mit Referenzwerten einer Vielzahl unterschiedlicher Gase wird daraus mittels Korrelationsalgorithmen eine quantitative Gasqualität bestimmt.

Auf einem Motorenprüfstand der Empa wurde ein Einzylindermotor für den Betrieb mit verschiedenen Brennverfahren (frei ansaugend, aufgeladen, stöchiometrisch mit Abgasrückführung, mager mit Luftüberschuss) ausgerüstet und mit umfangreicher Messtechnik instrumentiert. Der Motor wurde mit sechs verschiedenen Gaszusammensetzungen betrieben: 100 % Methan und Methan mit bis zu 40 mol% CO₂, 13 mol% Ethan, 25 mol% Stickstoff und 15–25 mol% Wasserstoff. Damit konnte ein breites Feld an unterschiedlichen Gasqualitäten abgesteckt und ausgemessen werden.

Der Wasserstoffanteil beeinflusst insbesondere die Zündfähigkeit des Brennstoffs, was zu einem kürzeren Zündverzug und einer schnelleren

Verbrennung führt. Dies ist ausgeprägter bei magerer als bei stöchiometrischer Verbrennung mit Abgasrückführung. Eine starke Verlangsamung des Brennverlaufs ist bei einem höheren Anteil an CO₂ zu beobachten, wie dies bei Biogas der Fall ist.

Bei allen Versuchen am Verbrennungsmotor wurde auch der Gasqualitätssensor mitbetrieben und die Messresultate verglichen. Der Wechsel der Gase wurde zuverlässig detektiert und es konnte eine Zuordnung zwischen der Gasqualität des eingesetzten Gases und den Auswirkungen auf die Eigenschaften der Verbrennung im Motor erstellt werden. Durch die Programmierung der Motorsteuerung kann der Motorbetrieb beim Erkennen eines bestimmten Gases angepasst werden. Dies ist vorerst für markant unterschiedliche Gasanteile realisierbar.

Der Gassensor wurde zwischenzeitlich vom Laborgerät zu einem Vorprodukt weiterentwickelt. Ein Interesse wird nicht nur von den Motorenherstellern oder Anlagebauern gemeldet, sondern auch von den Gasnetzbetreibern zur Überwachung der Gasqualität im Netz.

Stephan Renz



REKA-Ferendorf in Blatten (VS): Die Dächer sind nach Westen und nach Osten ausgerichtet, so dass der solare Ertrag insbesondere am Morgen und am Nachmittag anfällt, dann wenn im Feriendorf die Belastungsspitzen auftreten.

Von der Sonne doppelt verwöhnt

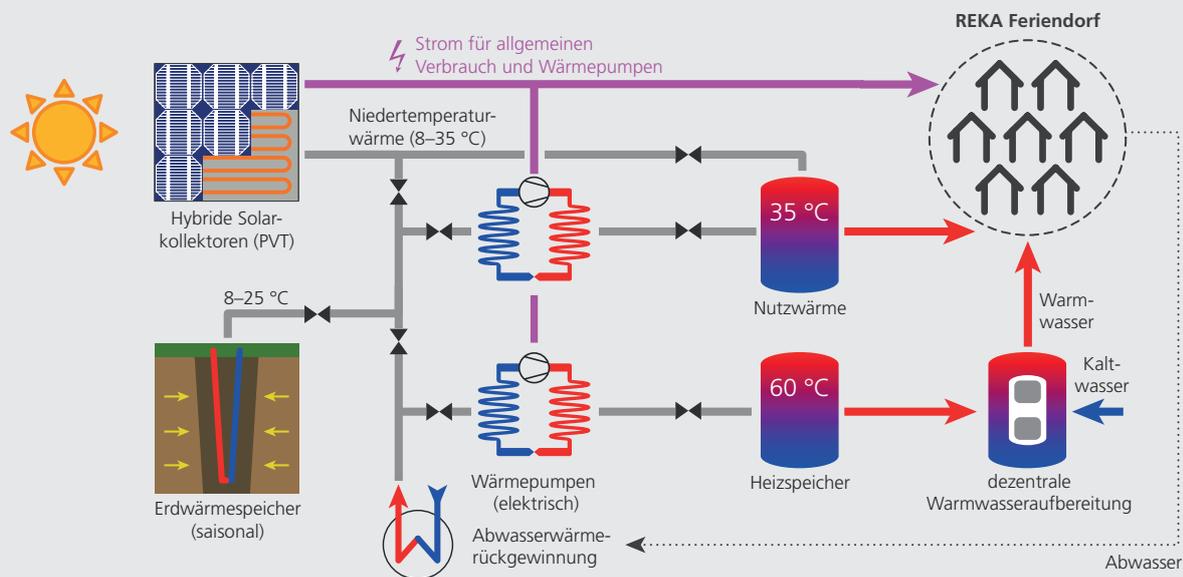
Wer im Reka (Schweizer Reisekasse)-Feriendorf in Blatten (VS) seine Ferien verbringt, profitiert von der Sonne gleich doppelt. Er kann am Walliser Südhang die wärmenden Strahlen genießen. Und er nutzt die Sonne indirekt, denn die Feriensiedlung deckt über zwei Drittel ihres Energiebedarfs mit Sonnenenergie. Hybrid-Sonnenkollektoren produzieren Warmwasser und Strom, so dass das Feriendorf ohne fossile Energien auskommt.

Zum Auftakt der Wintersaison im Dezember 2014 hatte das Reka (Schweizer Reisekasse)-Feriendorf in Blatten seine Türen geöffnet. Es ist das 14. Feriendorf, welches die Reka in der Schweiz und in Italien betreibt. Bis zu 350 Feriengäste finden hier in 50 Wohnungen Platz, verteilt auf neun Ferienhäuser. Das Feriendorf Blatten ist nicht nur das jüngste, sondern aus energetischer Sicht auch das

modernste. Sein Heizsystem basiert auf einem zukunftsweisenden Konzept mit Ausstrahlungspotenzial. Die Gäste können hier ihre Ferien in vollen Zügen genießen – dies im Bewusstsein, auch energetisch umweltbewusst zu leben.

Als die Reka ihr neues Feriendorf in Blatten plante, stellte sie es unter das Thema Energie. Bei der Umsetzung war ursprünglich der Bau einer Holzheizung vorgesehen. Je-

doch hätte Holz umständlich aus dem Tal angeliefert werden müssen. So entschied sich das Projektteam für eine konsequente Nutzung der Sonnenenergie. Blatten bietet dafür gute Voraussetzungen, da der solare Energieertrag auf Grund der Höhenlage rund 20 % über jenem im Schweizer Mittelland liegt. Zudem begünstigen die kühlen Temperaturen die Erzeugung von Solarstrom.



In der Photovoltaik-Hybrid-Anlage im Reka-Ferienort Blatten werden solare Hybridmodule eingesetzt, welche Solarstrom und thermische Solarenergie aus einem Modul liefern. Es ist in dieser Grössenordnung die erste Indach-Hybrid-Anlage der Schweiz.

Die Planer wählten für das Ferienort neue Hybridpaneele vom Schweizer Hersteller Meyer-Burger, welche neben Photovoltaikstrom auch Warmwasser produzieren. Vier Dächer mit Hybridpaneele und weitere drei Dächer mit Photovoltaikpaneele liefern bis zu 380 kW Wärme und 180 kW_p Strom. Gemeinsam bilden sie den Grundstock für die Energieversorgung des Reka-Ferienorts.

Die Hybridpaneele speisen die Niedertemperaturheizung (35 °C) und versorgen das Ferienort mit Warmwasser (60 °C), das hier einen relativ hohen Anteil am Energieverbrauch darstellt. Liefert die Sonne nicht die gewünschte Temperatur, helfen Wärmepumpen nach. Den Strom beziehen diese aus der eigenen Photovoltaikanlage und ergänzend aus dem Netz (Wasserkraftwerk Blatten). Abgerundet wird das Energiesystem durch eine Anlage zur Wärmerückgewinnung

aus Abwässern (Duschen, Wanne, Toiletten). Mit diesen Energiequellen kann über das Jahr hinweg über 70 % des Energiebedarfs bestritten werden.

Damit dies gelingen kann, ist eine weitere Komponente nötig: ein Speicher, bestehend aus 31 Erdwärmesonden, die rund 150 m im Felsgestein ruhen und die geeignet sind, Wärme im Umgebungsgestein einzulagern bzw. daraus aufzunehmen. Mit dem Erdwärmespeicher lässt sich der Wärmeüberschuss aus dem Sommer ins Winterhalbjahr übertragen: in den warmen Monaten wird das Erdreich auf bis zu 14 °C erwärmt. Diese Wärme kann dann in der kalten Jahreszeit wieder bezogen werden, wobei das Erdreich auf bis 4 °C abgekühlt wird. Mit dem Erdspeicher kann damit ein grosser Anteil des Wärmeertrags der Solarkollektoren über grössere Zeiträume (Monate) zwischengelagert werden.

Das Energiesystem des Ferienorts Blatten hat seinen Preis: Investitions- und Betriebskosten liegen für die Heizwärme gemäss Energieplanern bei 24.5 Rp./kWh und damit rund ein Viertel über dem Preis einer Energiebereitstellung mittels Ölheizung. Die Investitionskosten des solaren Energiekonzeptes sind 1.6 Millionen Franken höher als für die ursprünglich vorgesehene Holz-Pellet-Heizung, welche rund 0.9 Millionen Franken gekostet hätte.

Das gewählte Energiesystem ist Ausdruck der Nachhaltigkeitsziele, denen sich die Reka 2011 verschrieben hat. Sechs der 14 Reka-Dörfer sind unterdessen energetisch «up-to-date», drei weitere Ferienorte werden bis 2017 energetisch totalsaniert.

Benedikt Vogel



KURZ BERICHTET ...

Trafos haben noch Effizienzpotenzial

Wenn es um den häuslichen Umgang mit Elektrizität geht, sind in der Regel gewerbliche und private Verbraucher angesprochen. Doch auch im Stromnetz selber schlummert ein erhebliches Effizienzpotenzial. Eine Studie hat dieses Potenzial für Verteiltransformatoren im Mittel- und Niederspannungsnetz für den Leistungsbereich von 100 bis 2000 kVA abgeschätzt. Die Spannungswandler der rund 700 Schweizer Verteilnetzbetreiber sowie der Industrie- und Gewerbebetriebe weisen jährliche Energieverluste von rund 400 GWh auf. Diese liessen sich durch den Einsatz modernster Transformatoren mit amorphem Kern um die Hälfte reduzieren, was einer Einsparung von gut 0,3 % des landesweiten Stromverbrauchs entspräche.

Michael Moser



Das Einsparpotenzial pro Transformator entspricht etwa dem jährlichen Stromverbrauch eines Mehrpersonenhaushalts.

Wärmespeicher aus Eis

Bei der Totalsanierung von zwei achtgeschossigen Wohnblocks der Genossenschaft «La Cigale» mit insgesamt 273 Wohnungen im Zentrum von Genf handelt es sich um die landesweit grösste Gebäudeerneuerung nach dem Energieeffizienzstandard «Minergie P». Dank einer hochwertigen Wärmedämmung der Gebäudehülle und dem Einbau

einer Komfortlüftung konnte der jährliche Wärmebedarf für Heizung und Brauchwasser um rund 70 % auf 34 kWh/m² gesenkt werden. Zu dem integrierten Heizsystem gehören 1680 m² unverglaste Solar Kollektoren, fünf Wärmepumpen sowie zwei Eisspeicher. Letztere puffern überschüssige Energie der Sonnenkollektoren und dienen damit als Ergänzung des Niedertemperaturheizsystems.

Benedikt Vogel

Solarthermische Anlage auf zwei Wohnblocks in Genf mit insgesamt 273 Wohnungen und einer Energiebezugsfläche von 19'000 m².





ERNEUERBARE ENERGIE

Der Anteil erneuerbarer Energiebereitstellung nimmt weltweit kontinuierlich zu – insbesondere im Stromsektor, wo der Anteil erneuerbarer Energie 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 Energie 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.



Wasserstoff aus Sonnenlicht

Die Bedeutung der solaren Stromerzeugung nimmt weltweit immer stärker zu. So wurden 2014 erstmals mehr als 50 Gigawatt an neuer Photovoltaikleistung installiert. Damit verbunden rückt auch die Frage nach der Speicherung dieses Solarstroms immer mehr in den Vordergrund. Eine Möglichkeit ist die Nutzung von Solarstrom zur Elektrolyse von Wasser und/oder Kohlendioxid, um so chemische Energieträger – beispielsweise Wasserstoff – zu gewinnen. Die in einer Solarzellen durch den Photoeffekt erzeugten Ladungsträger können aber auch dazu verwendet werden, Wasser direkt in Wasserstoff und Sauerstoff aufzuspalten, und so die im Sonnenlicht enthaltene Energie stofflich zu speichern – ähnlich wie Pflanzen bei der Photosynthese Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff aufspalten und mit dem so gewonnenen Wasserstoff Kohlenstoffdioxid zu Glucose reduzieren.

In der Schweiz arbeiten verschiedene Forschergruppen auf dem Gebiet der Photokatalyse, um mittels Sonnenlicht und Wasser direkt energiereiche chemische Treibstoffe herzustellen. Eine grosse Herausforderung liegt in der für die Wasserspaltung erforderlichen Spannung von mindestens 1,23 Volt (in der Praxis mindestens 1,7 Volt), welche sich mit Standardphotovoltaikzellen basierend auf Silizium nur durch das Hintereinanderschalten vieler solcher Zellen realisieren lässt. In einer «Science»-Publikation in 2014 von Forscher der ETH Lausanne wurde im vergangenen Jahr hierzu ein neuer Ansatz präsentiert. In einer unter Einfall von Sonnenlicht Wasserstoff produzierenden Zelle werden neuartige Perowskit-Solarzellen eingesetzt, welche eine relativ hohe Leerlaufspannung von mehr

als einem Volt aufweisen, so dass mit nur zwei solchen Solarzellen eine Gesamtspannung von zwei Volt erreicht wird, was für die Aufspaltung von Wasser ausreichend ist. Insbesondere werden hier auch neue auf Nickel und Eisen basierende Katalysatoren eingesetzt, welche die Überspannungen (Differenz zwischen der effektiv anzulegende Spannung zur Wasserspaltung und den theoretischen notwendigen 1,23 Volt) stark reduzieren. Standard-Testbedingungen wurden so im Labor eine Solar-zu-Wasserstoff-Effizienz von 12,3 % demonstriert. In der Vergangenheit konnten solche Effizienzen nur mit sehr viel teureren Solarzellen basierend auf III-V-Halbleitermaterialien und dem Einsatz von auf Seltenen Erden basierenden Katalysatormaterialien realisiert werden.



Um Wasserstoff solarthermisch zu gewinnen, werden in einem ersten Schritt Metalloxide mittels konzentrierender Solarenergie in reines Metall und Sauerstoff dissoziiert. Hier sieht man Zink, welches aus einem solaren Reaktor so gewonnen wurde. In einem zweiten Schritt (Hydrolyse) werden aus diesen Metallen Wasserstoff und die ursprünglichen Metalloxide gebildet.

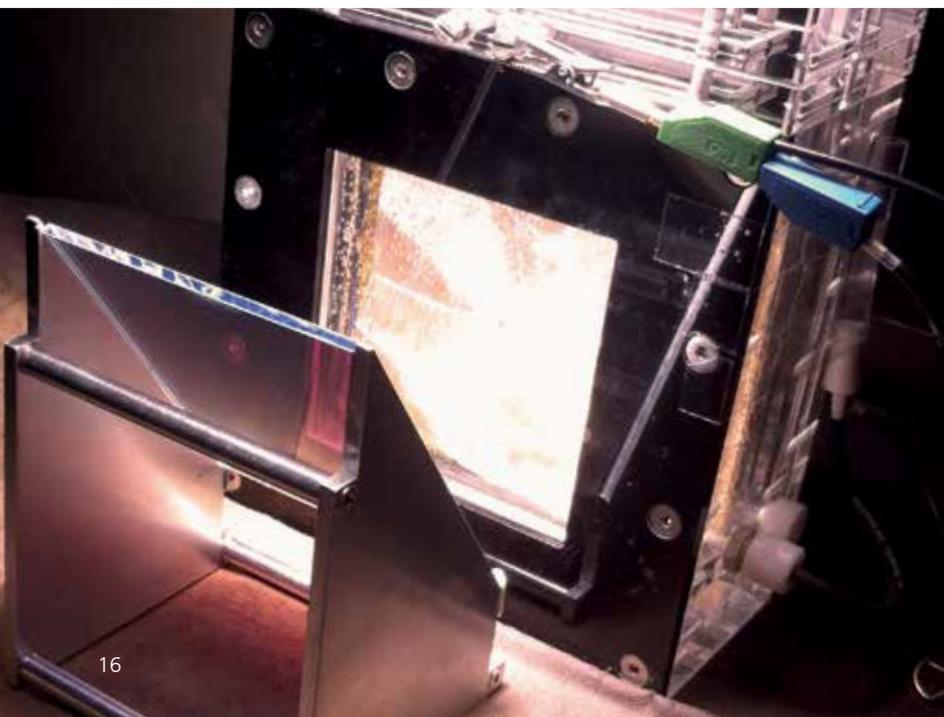
Eine weiteres Schweizer Forschungskonsortium von der Empa und der Universität Basel wurde Ende 2014 für ihre Arbeiten im Bereich der solaren Wasserstoffherzeugung in den USA als eine der «100 leading Global Thinkers» ausgezeichnet. Hier werden auf Eisenoxid (Hämatit) basierende Photoelektroden genutzt, um Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff zu zerlegen. Im Gegensatz zu der oben erwähnten Arbeit sind hier Photozelle und die Wasserspaltende Elektroden direkt in einer photoelektrochemischen Zelle integriert. Hämatit ist korrosionsbeständig und billig, freie Ladungsträger kön-

nen sich darin aber nicht gut bewegen, so dass die lichtabsorbierenden Schichten äusserst dünn sein müssen. Die Innovation in diesen Arbeiten liegt in der besonderen spärlichen Ausgestaltung dieser Hämatitschichten («Mottenauge»), mittels der das einfallende Licht eingefangen werden kann, so dass trotz einer dünnen Absorberschicht genügend hohe Photoströme zur Wasserspaltung erzielt werden können.

Einen gänzlich anderen Weg beschreiten Forscher an der ETH Zürich (ETHZ-PREC) und am Solartechnologie Labor am Paul Scher-

rer Institut. Hier wird konzentrierte Solarenergie eingesetzt, um über thermochemische Prozesse Wasserstoff und/oder CO₂ aufzuspalten und so entweder reinen Wasserstoff oder Synthesegas – ein Gemisch aus Wasserstoff und Kohlenmonoxid – zu gewinnen. Aus Synthesegas lassen sich über weitere chemische Zwischenschritte flüssige Kohlenwasserstoffe wie Benzin oder Kerosin gewinnen. Da hier sehr viel höhere Temperaturen im Spiel sind, unterscheiden sich die Materialsysteme stark von denen in der Photokatalyse und Photoelektrochemie eingesetzten Zellen.

Stefan Oberholzer



An der ETH Lausanne wird versucht, die Technologie zur photoelektrochemischen Wasserstoffproduktion aufzuskalieren. Im Aufbau links teilt ein dichroitischer Spiegel die einfallende Strahlung auf in einen Teil, welcher auf die photoelektrochemische Zelle fällt (Cu-Oxid-Anode) und einen Teil, welcher eine Silizium-Heterjunctionsolarzelle bestrahlt, welche die für die Aufspaltung von Wasser notwendige zusätzliche Spannung liefert. Mit einer solchen «PEC-PV»-Tandem-Konfiguration können Solar-zu-Wasserstoff-Effizienzen erreicht werden, in die Nähe der Effizienzen zu liegen kommen, welche man über Photovoltaik kombiniert mit einem Elektrolyseur erreicht.



Betankung mit 100 % Biomethan an der «Blue BONSAI-Tankstelle» in Reiden (LU).

Die Tankstelle direkt beim Landwirt

Wie sollen und können fossile Treibstoffe ersetzt werden? Die Aufbereitung von Biogas zu Treibstoff bietet hier eine Möglichkeit. Die kleinräumige Schweizer Topografie fordert spezielle Anlagentechnik für kleine, dezentrale Lösungen. Kleinanlagen galten lange als unmöglich, weil unwirtschaftlich. Das Projekt «Blue BONSAI» zeigt eine Lösung auf, welche ermöglicht, direkt beim Landwirt zu tanken.

Rohgas aus dem Biogas-Fermenter besteht zu rund 50–62 Vol% aus Methan, der Rest ist grösstenteils Kohlendioxid. Ein Kubikmeter Rohgas enthält 5 bis 6 kWh an Energie, was für etwa 10 Fahrkilometer reichen würde. Für die Verwendung als Fahrzeugtreibstoff ist aber eine Aufbereitung nötig: Feuchtigkeit und diverse Begleitstoffe wie

Ammoniak oder Schwefelwasserstoff müssen entfernt werden. Anschliessend wird der Methangehalt erhöht, indem das Kohlendioxid abgetrennt wird. Es resultiert ein Gas mit mindestens 96 Vol% Methan und etwa 10 kWh an Energie (vergleichbar mit Erdgas).

Für die Abtrennung des Kohlendioxids existieren verschiedene Tech-

nologien: Druckwechseladsorption, Druckwasserwäsche oder Aminwäsche. Für Kleinanlagen gilt aber ein enormer Kostendruck: Der Grundstock an Anlagen- und Sicherheitstechnik ist gleich teuer wie bei einer Grossanlage. Einsparungen in der Prozessführung, in der Steuerungstechnik und der Konstruktion sind also nötig und von Grund auf in die Entwicklung

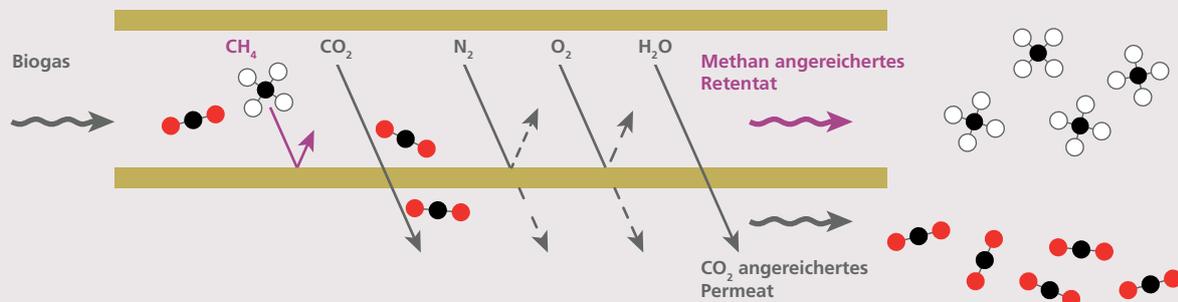


Illustration einer Hohl-Faser im Querschnitts: CO₂ (rot-schwarz dargestellt) dringt durch die Poren, CH₄ (schwarz-weiss dargestellt) bleibt in der Faser und kann so separiert werden.

der «Blue BONSAI» (Apex AG und Duttwiler Energietechnik) eingeflossen. Auch spielt eine weitere Besonderheit der Schweizer Biogaslandschaft eine Rolle: Die Substrate sind vielfältiger, da in der Schweiz konsequent nur biogene Reststoffe für die Vergärung verwendet werden. Mit schwankendem Input schwanken auch Menge und Qualität des Gasoutputs. Das System muss mit solchen Randbedingungen zurechtkommen.

In der «Blue BONSAI» wird die Membrantrennung eingesetzt, welche für kleinste Anlagen die Aufbereitung ermöglicht: das Funktionsmuster auf der Biogasanlage Grossenbacher in Reiden hat einen Durchsatz von nur 2,5 Nm³/h Rohgas oder rund 1,5 Nm³/h Biomethan. Die Membran wirkt unter Druckdifferenz wie ein Filter, der das CO₂ durch die Poren lässt, das Methan aber rückbehält. Eine «Blue BONSAI»-Anlage beinhaltet die Rohbiogas-Reinigung, die Bio-

gas-Aufbereitung, die Hochdruckverdichtung- und Gasspeicherung in einer Biogas-Tankstelle mit Zapfstelle.

Ein Musterstandort hierfür ist ein landwirtschaftlicher Betrieb oder eine Abwasserreinigungsanlage mit Blockheizkraftwerk. Hier kann eine Teilmenge des Biogases zu Treibstoff aufbereitet und der Rest verstromt werden. Der Co-Betrieb erlaubt es, die Gas-Produktion zu optimieren, mehr Treibstoff oder mehr Strom zu produzieren je nach Nachfrage und Preis. Landwirtschaftliche Biogasanlagen liegen oft abgelegen und entfernt vom Erdgasnetz. Hier fehlen also auch Erdgastankstellen. Mit einer «Blue BONSAI»-Anlage können diese Lücken auf der Schweizer Tankstellenkarte geschlossen werden.

Biogas schliesst den CO₂-Kreislauf. Heutige Biomasse (Reststoffe wie Gülle, Mist, Grünschnitt, Essensreste) werden im Fermenter vergärt. Gärreste werden als Dünger weiter

verwendet und mit dem Gas wird Strom, Wärme oder eben Treibstoff erzeugt. Das CO₂ aus dem Offgas der Biogas-Aufbereitung, wie auch aus dem Abgas der Autos schliesst als «neutrales» CO₂ den Kreislauf und wirkt als Dünger für das Pflanzenwachstum.

Zukünftig kann das in der Aufbereitung separierte und aufkonzentrierte CO₂ auch direkt weiter verwendet werden. Der Weg steht offen für z. B. die Gewächshausdüngung, die Algen-Kultivierung (Erzeugung weiterer Biomasse) oder die Methanisierung von elektrolytisch gewonnenem Wasserstoff aus «Überschussstrom».

Sandra Hermle



Pilotproduktionslinie für innovative Hochleistungssolarzellen

Der Photovoltaik kommt eine immer grösser werdende Bedeutung in einer auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Energieversorgung zu. So sieht die nationale Energiestrategie vor, dass 2050 knapp die Hälfte des Stromes aus neuen erneuerbaren Quellen über Photovoltaik produziert werden soll. Dabei liegt eine der Herausforderungen für die Technologie in einer weiteren Kostenreduktion über die gesamte Wertschöpfungskette – massgeblich über eine weitere Effizienzsteigerung einzelner Komponenten und die industrielle Umsetzung neuer Produkte und neuer Herstellungsverfahren.

Nach einer für die globale Photovoltaikindustrie schmerzhaften Periode, geprägt von Überkapazitäten, enormem Preisdruck und einer starken Marktbereinigung, erholt sich der weltweite Photovoltaikmarkt aktuell schneller als von

vielen Experten erwartet. Eine zunehmende Auslastung asiatischer Modulproduzenten bedeuten insbesondere gute Neuigkeiten für die europäische Zulieferindustrie. Gefragt sind hier innovative Entwicklungen zur kostengünstigen Fertigung hoch effizienter Solar-

zellen und -module für eine weitere Senkung der Gestehungskosten von Solarstrom.

Seit 2013 wird im Projekt «Swiss-Inno HJT» der Industriegruppe Meyer Burger zusammen mit dem PV-Center am Centre Suisse



Im November 2014 wurde bei der Meyer Burger Research AG in Hauterive, Neuenburg, eine Pilotanlage zur Produktion von hocheffizienten Heterojunction-Solarzellen eröffnet.

d'Electronique et de Microtechnique (CSEM) in Neuchâtel eine Pilotproduktionslinie für Hochleistungssolarzellen basierend auf der Heterojunction-Technologie aufgebaut. Das Bundesamt für Energie und der Kanton Neuchâtel fördern dieses Projekt. Die eingesetzte Zellentechnologie wurde während mehrerer Jahre in einer engen Kooperation zwischen dem PV-Lab der EPFL in Neuchâtel und Roth & Rau Research entwickelt. Es handelt sich dabei um monokristalline Siliziumwafer, welche mit wenigen Nanometern amorphem Silizium beschichtet werden. Damit lassen sich Modulwirkungsgrade von 21 % erreichen, welche deutlich höher liegen als bei durch-

schnittlichen kristallinen Siliziummodulen (16 %). Zusätzlich zeichnet sich diese Technologie durch einen besonders hohen Energieertrag (kWh/kW) aus.

Der Aufbau dieser Pilotlinie – mit einer anvisierten Produktionskapazität von 600 kWp/Jahr – soll das Potenzial für niedrige Herstellungskosten (geringer als 0.65 CHF/W_p) demonstrieren. Das Projekt kann dazu beitragen, eine erfolgreiche Markteinführung dieser Technologie vorzubereiten, und damit insgesamt den Technologiestandort in Bereich Photovoltaik in der Schweiz zu fördern.

Stefan Oberholzer



KURZ BERICHTET ...

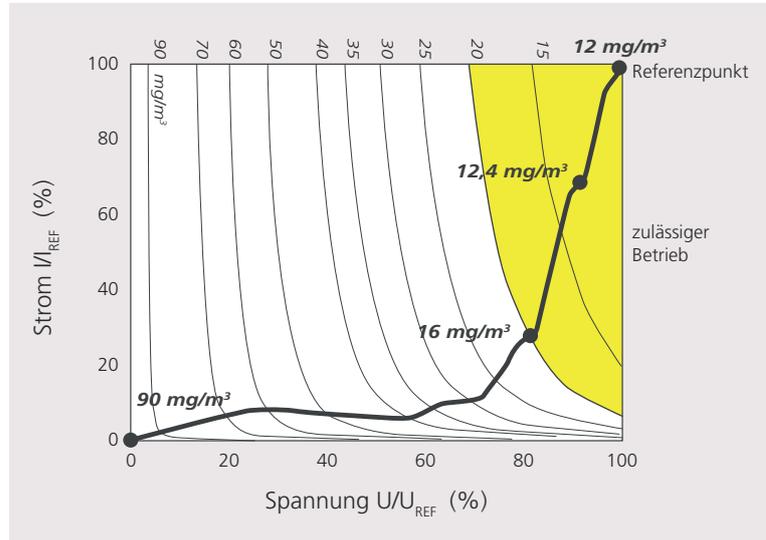
Automatische Holzfeuerung und Feinstaubabscheider – ein funktionsfähiges Duo?

Automatische Holzfeuerungen ab 500 kW werden meist mit Elektroabscheidern ausgerüstet, um den Staubgrenzwert der Luftreinhalte-Verordnung einzuhalten. Da die Feuerungen in der Praxis oft bei Teillast oder im Ein-/Aus-Betrieb im Einsatz stehen, sind die Elektroabscheider teilweise nicht permanent sondern nur eingeschränkt wirksam. Eine Praxiserhebung über zwei Jahre zeigt nun, dass nicht umgehend behobene Störungen die Verfügbarkeit der Abscheider erheblich reduzieren und die Emissionen damit erhöhen. Die Untersuchung bestätigt damit den Nutzen einer Anlagenüberwachung anhand von Daten aus den Steuerungen von Kessel und Elektroabscheider.

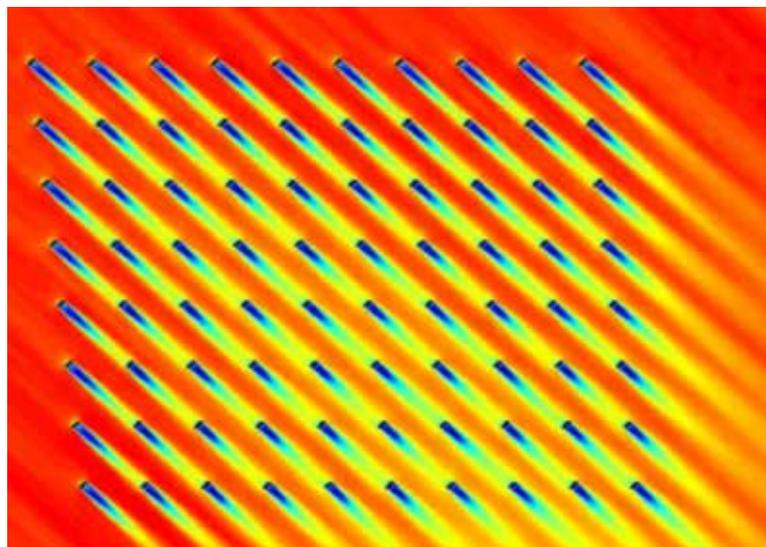
Sandra Hermle

Verbesserte Erträge in der Windkraft

Aktuelle Forschungsergebnisse zeigen, dass die «schwierigen Verhältnisse» wie komplexe Topografie, Turbulenzen und Vereisung für die Windkraft in der Schweiz nicht nur beherrschbarer werden, sondern auch positive Effekte haben können. An hügeligen Standorten, wie sie in der Schweiz oft anzutreffen sind, kann man Windkraftanlagen viel näher hintereinander platzieren als im Flachland, da durch die Turbulenzen der hinter einer Turbine abgeschwächte Windstrom schneller wieder anschwellen kann (www.lec.ethz.ch). Neue



Strom/Spannungsdiagramm eines elektrischen Feinstaubabscheiders (normiert auf den Auslegungsbetrieb im Referenzpunkt). Die Punkte bezeichnen die gemessene Staubwerte. Oben rechts ist der Referenzpunkt eingetragen. Der gelbe Bereich gibt den zulässigen Betriebsbereich an.



Numerische Modellierung der zeitlich gemittelten Wingschwindigkeiten in einem grossen Windpark zur Untersuchung des Einflusses von Nachlaufströmungen (Wind aus 312°; rot: > 8 m/s; blau < 4 m/s).

Erkenntnisse über den Tagesgang der Grenzschicht sowie die unterschiedliche Länge der Nachlaufströmung tags und nachts können

in einer optimierten Turbinen und Parksteuerung die Erträge weiter verbessern (<http://wire.epfl.ch>).

Katja Maus



SOZIOÖKONOMISCHE ASPEKTE VON ENERGIETECHNOLOGIEN UND -SYSTEMEN

Das Querschnittsprogramm «Energie-Wirtschaft-Gesellschaft (EWG)» befasst sich mit ökonomischen, soziologischen, psychologischen sowie politologischen Fragestellungen über die ganze Wertschöpfungskette der Energie hinweg. Das Forschungsprogramm dient sowohl der Entwicklung neuer, als auch der Überprüfung bestehender energiepolitischer Instrumente. Im

Jahr 2014 wurde eine breite Palette von Forschungsprojekten zu so verschiedenen Themen wie dem Verhalten der Energieverbraucher, Strommarktdesign, dem Potenzial von Demand Side Management (Nachfragesteuerung) oder den möglichen volkswirtschaftlichen Auswirkungen von energiepolitischen Instrumenten unterstützt.





Auswirkungen dezentraler Stromspeicher und Nachfragesteuerung auf die Entwicklung des Energiesystems

Der Grundsatzentscheid von Bundesrat und Parlament für einen schrittweisen Ausstieg aus der Atomenergie bedingt einen sukzessiven Umbau des Schweizer Energiesystems. Der Energiemix soll um einen bedeutenden Anteil intermittierender erneuerbarer Energie ergänzt werden. Da sich die meteorologischen Bedingungen laufend verändern, schwankt die Verfügbarkeit von Sonnen- und Windenergie. Es ist davon auszugehen, dass intermittierende Energie zeitweise nur in geringem Umfang verfügbar ist.

Zur Bewältigung dieser Problemstellung sind mehrere Strategien denkbar: Investitionen in rasch verfügbare Ersatzkapazitäten, die das Gleichgewicht im Stromnetz gewährleisten; Investitionen in die Interkonnektion mit den Energienetzen benachbarter Regionen, um Energie austauschen zu können; sowie Investitionen in Speichertechnologien und die Implementierung von Mechanismen zur Steuerung der Nachfrage. Die letztgenannte Variante zielt darauf ab, auf dynamische Weise die Übereinstimmung zwischen intermittierender Produktion und Nachfrage zu verbessern.

Eine Studie hat im Rahmen des Forschungsprogramms EWG die Auswirkungen der dezentralen Speicherung und der Demand-Re-

sponse-Mechanismen auf die langfristige Entwicklung des Energiesystems ermittelt. Speichermechanismen dienen dazu, Überschüsse aus der Produktion erneuerbarer Energie, welche bei windiger Witterung und/oder intensiver Sonneneinstrahlung erzielt werden, zu absorbieren und sie später bei Bedarf wieder ins Netz einzuspeisen. Demand-Response-Mechanismen nutzen ihrerseits die Flexibilität der Nachfrage aus. Um die Speicher- und die Demand-Response-Mechanismen zu modellieren, wurde eine Flexibilität der Lastprofilkurven eingeführt. Die Kalibrierung dieser Flexibilität erfolgte über eine Umfrage in der Westschweiz. Aus dieser ging hervor, dass sich etwa 80 % der Haushalte an Speichermechanismen in Elektrofahrzeugen und an Demand-Response-Mechanismen

men beteiligen würden, und zwar selbst dann, wenn die finanziellen Anreize dazu gering wären. Es zeigt sich zudem, dass Demand-Response tendenziell eine sinkende Attraktivität der Speicherung in Elektrofahrzeugen zur Folge hat, denn «Demand-Response» führt zu einem Anstieg der Preise und damit zu einer Einschränkung der Arbitragemöglichkeiten. Die dezentrale Speicherung in Elektrofahrzeugen erhöht tendenziell die Attraktivität von erneuerbarer Energie, insbesondere der Windenergie.

Eine weitere Studie hat das Flexibilisierungspotenzial der Stromnachfrage von Haushalten untersucht mit dem Ziel, den Anteil der Stromproduktion aus Photovoltaik, der lokal gebraucht wird, zu maximieren und so die Übereinstimmung von lokaler Produktion und Nachfrage zu verbessern. Eine technische Analyse der typischen Charakteristika der Haushalte sowie der Einflussfaktoren der Flexibilität hat ein theoretisches Flexibilisierungspotenzial von 6 bis 8 % ergeben. Dieses theoretische Potenzial in der Praxis umzusetzen, ist

jedoch nicht ganz einfach. Mit monetären Anreizen konnte der Anteil des Stroms, der in der Zeitspanne von 11 bis 15 Uhr gebraucht wurde, um 2,9 Prozentpunkte erhöht werden. Dies ist insofern beachtlich, als das der Anteil des Stroms, der in diesem Zeitfenster konsumiert wird, bei den Probanden im Durchschnitt bei 20 % lag. Dieses Ergebnis zeigt, dass «time-of-use» Tarife ein interessantes Instrument zur Nachfragesteuerung darstellen.

Anne-Kathrin Faust

Mitglieder der Regionalkonferenzen besuchen im Rahmen eines Ausbildungsmoduls das Schweizer Zwischenlager für radioaktive Abfälle ZWILAG.





Partizipation bei der Standortsuche für geologische Tiefenlager

In den sechs Schweizer Regionen, die als Lagerstandorte für radioaktive Abfälle infrage kommen, beteiligen sich insgesamt über 500 Personen an der regionalen Partizipation. Sie wirken am Auswahlverfahren mit, beispielsweise bei der Platzierung der Oberflächenanlage oder bei sozio-ökonomischen Studien. Eine regionale Partizipation in dieser Breite und Gestaltung ist nicht nur national, sondern auch international einmalig. Doch wie übertragbar ist der Prozess überhaupt auf andere Grossprojekte? Und was sind seine Stärken und Schwächen? Diesen Fragen geht das Forschungsprojekt «Partizipative Entsorgungspolitik» nach.

Im Rahmen der regionalen Partizipation will das Schweizer Auswahlverfahren für geologische Tiefenlager die Möglichkeit bieten, regionale Anliegen in die Planung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle einzubringen. Zu diesem Zweck wurden in allen sechs potenziellen Standortregionen Gremien für die Partizipation – so genannte «Regionalkonferenzen» – gegründet, welche aus Vertreterinnen und Vertretern der betroffenen Gemeinden, Organisationen sowie weiteren Einwohnerinnen und Einwohnern bestehen. Bereits der Aufbau der Regionalkonferenzen von 2009 bis 2011 war von einem Forschungsprojekt beleuchtet worden. Dieses fasste die wichtigsten Erkenntnisse in Form von «Lessons learned» zusammen, z. B. in Bezug auf die Kommunikation: Von Anfang an müsse das Ziel der Partizipation klar und einfach verständlich vermittelt werden. Zudem müssten während des Prozesses die Rollen und Aufgaben der Beteiligten genau definiert wer-

den. In Bezug auf die Zusammensetzung der Regionalkonferenzen seien insbesondere junge Teilnehmende und Frauen unterrepräsentiert.

Im Jahr 2014 wurde mit dem politikwissenschaftlichen Dissertationsprojekt «Partizipative Entsorgungspolitik» an der Universität Bern nun ein zweiter Teil der Begleitforschung zu den Regionalkonferenzen lanciert. Darin wird die tatsächliche und in allen sechs Standortregionen aktuell laufende Umsetzung der regionalen Partizipation analysiert. Unter anderem sollen die Ergebnisse des Forschungsprojekts dem BFE ermöglichen, Schwächen und Stärken zu erkennen sowie die partizipativen Prozesse zu verbessern. Weiter soll auch ein Vergleich zu anderen Grossprojekten gezogen werden, damit die Erfahrungen und Erkenntnisse weitergreifend nutzbar gemacht werden können. Um die Lehren aus dem Aufbau der Partizipation einfließen zu las-

sen, widmet sich ein Teilprojekt der Studie zudem dem Thema «Frauen und Jugendliche bei technischen Langzeitprojekten». Als Grundlage für die Analyse dienen neben einer Literaturschau und der teilnehmenden Beobachtung auch zahlreiche Interviews mit beteiligten Personen und eine Umfrage unter allen Mitgliedern der Regionalkonferenzen.

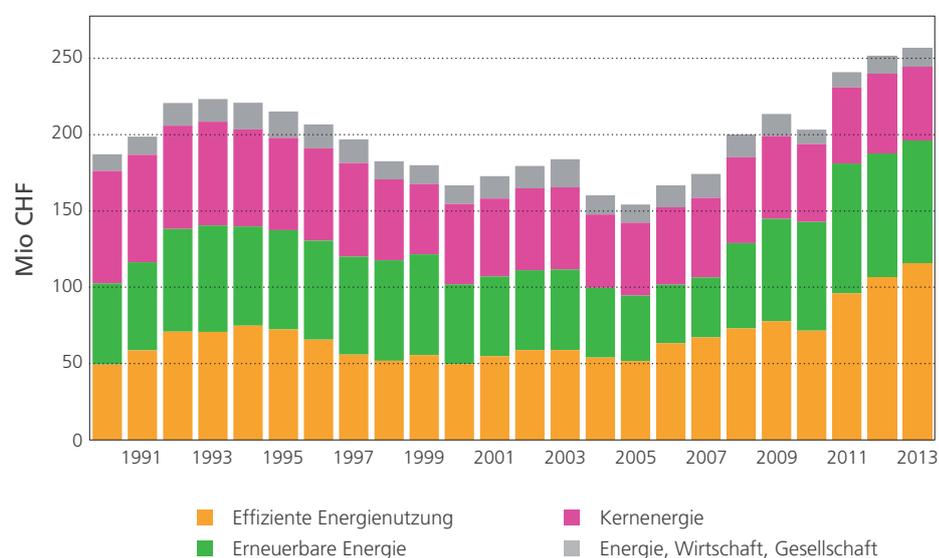
Beide Forschungsprojekte zur Partizipation sind Teil des BFE-Forschungsprogramms «Radioaktive Abfälle». Dieses koordiniert die regulatorischen Forschungstätigkeiten des Bundes im Bereich der Entsorgung radioaktiver Abfälle. Neben technisch-naturwissenschaftlichen Projekten – welche vom Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI betreut werden – adressiert das Programm auch geistes- und sozialwissenschaftliche Themen.

Annatina Foppa

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 1'500 Projekte erfasst, geprüft und statistisch ausgewertet. Eine Übersicht der Datenerhebung ist unter www.energieforschung.ch veröffentlicht.



Langzeitüberblick über die für die Energieforschung aufgewendeten öffentlichen Mittel. Die Daten werden in Realwerten, d. h. teuerungskorrigiert für das Jahr 2014, dargestellt. Die Werte bewegen sich zwischen 0,3 und 0,65 Promille des Bruttoinlandsprodukts.

	ETH	SNF	KTI	BFE	ENSI	SBFI (FP6)	EU	Kt./Gmd.	Andere
2012	146.3 (58.2 %)	4.3 (1.7 %)	22.8 (9.1 %)	22.7 (9.0 %)	2.7 (1.1 %)	0.5 (0.2 %)	25.0 (9.9 %)	10.7 (4.3 %)	16.5 (6.6 %)
2013	148.9 (58.0 %)	5.0 (2.0 %)	21.5 (8.4 %)	28.5 (11.1 %)	2.4 (0.9 %)	0.2 (0.1 %)	23.8 (9.3 %)	12.6 (4.9 %)	14.0 (5.5 %)

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

	2012	2013
Effiziente Energienutzung	106,5	115,7
Energie in Gebäuden	22,3	26,9
Verkehr	14,4	13,9
Akkumulatoren und Supercaps	4,8	3,4
Elektrizitätstechnologien & -anwendungen	15,6	13,1
Netze & Systeme	7,4	9,2
Wärme-Kraft-Kopplung	1,2	0,6
Brennstoffzellen	12,5	15,3
Verbrennung	16,5	18,2
Kraftwerk 2020 & CO ₂ -Rückhaltung und -Sequestrierung	4,8	4,3
Verfahrenstechnische Prozesse	6,7	10,7
Erneuerbare Energien	81,2	81,0
Sonnenenergie	39,0	37,6
Solarwärme und Wärmespeicherung	11,9	10,9
Photovoltaik	21,6	21,4
Solare Hochtemperaturprozesse	5,6	7,2
Wasserstoff	12,3	12,2
Umgebungswärme (inkl. Wärmepumpen, Kälte)	1,3	1,7
Biomasse & Holz (inkl. Abfälle, Klärschlamm)	11,5	12,7
Geothermie	7,3	9,6
Windenergie	6,7	6,7
Wasserkraft	3,0	3,3
Stauanlagen	0,1	0,6
Kernenergie	52,3	48,0
Kernspaltung (Fission)	28,4	26,9
Sicherheit	17,9	12,6
Radioaktive Abfälle	5,1	3,4
Vorausschauende Forschung	5,4	10,9
Kernfusion	24,0	23,4
Plasmaphysik, Heizmethoden	17,3	16,3
Fusionstechnologie	6,6	4,8
Querschnittsthemen	11,4	12,3
Energie, Wirtschaft, Gesellschaft (EWG)	7,7	10,2
Wissens- & Technologie-Transfer (WTT)	2,7	1,8
Allgemeine verwaltungsinterne Forschungskoordination	1,0	0,3
Gesamt	251,5	256,9

Aufwendungen der öffentlichen Hand für die anwendungsorientierte Energieforschung inklusive Pilot- und Demonstrationsprojekte in Millionen 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 von rund 40 Programmen der IEA (Implementing Agreements, www.iea.org/techno/index.asp).

Auf europäischer Ebene wirkt die Schweiz – wo immer möglich – aktiv in den Forschungsprogrammen der Europäischen Union mit. Das BFE koordiniert hier auf institutioneller Ebene die Energieforschung mit

dem Europäischen Strategieplan für Energietechnologie (SET-Plan), den European Research Area Networks (ERA-NET), den europäischen Technologieplattformen, den gemeinsamen Technologieinitiativen (JTI) u. a. In gewissen Themenbereichen («Smart Grids», Geothermie) existiert eine intensive multilaterale Zusammenarbeit mit ausgewählten Ländern.

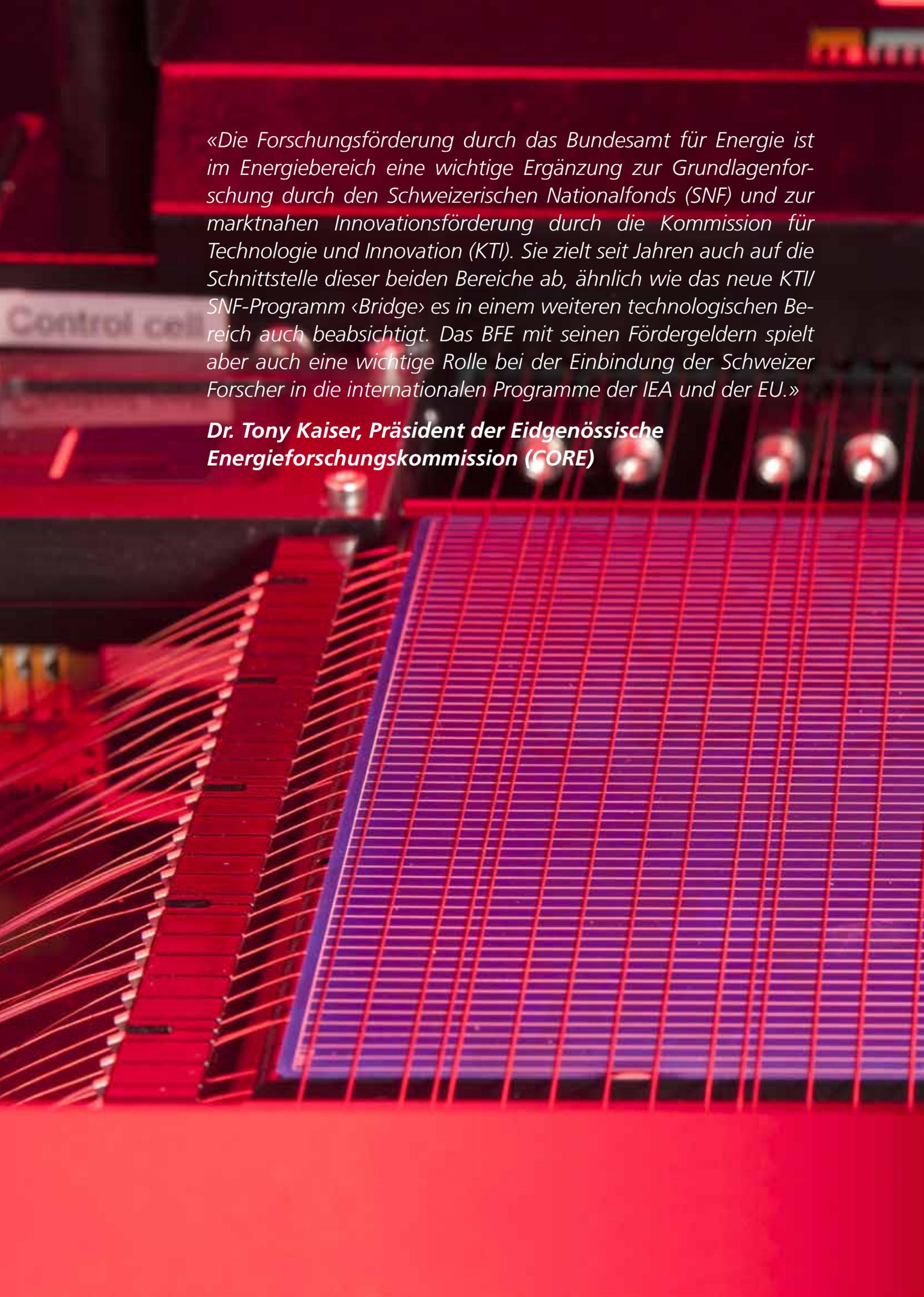
<http://www.energieforschung.ch> -> Internationales
<http://www.sbf.admin.ch> -> Internationale
Forschungs- und Innovationszusammenarbeit
<https://www.euresearch.ch>
<http://www.iea.org/techinitiatives>
<https://setis.ec.europa.eu>
<http://ec.europa.eu/research/energy>
<http://www.fch.europa.eu>

Bildnachweis:

Titelbild	100-kW-Solarreaktor zur thermochemische Gewinnung von Zink zur H ₂ -produktion, Copyright: Dr. Erik Koepf, Paul Scherrer Institut
Seite 0	Heliostatenfeld des 1-MW-Solarofen des Forschungszentrums CNRS-PROMES, Odeillo (F), Copyright: Dr. Erik Koepf, Paul Scherrer Institut
Seite 2	Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme eines Titan-Stromkollektors für PEM-Wasserelektrolyse, Labor für Elektrochemie, Paul Scherrer Institut
Seite 5	Parabolischer Solar-Konzentrator eines thermischen Hochkonzentrations-Photovoltaik-System (HCPVT), Dsolar/Airlight Energy SA
Seite 6	Vierschenkliges thermoelektrisches Oxidmodul im verbessertes «Half-Skeleton»-Design. Der Vorteil des neuen Designs besteht in der Verringerung des thermischen Widerstandes des gesamten Modules, wodurch der zur Verfügung stehende Wärmestrom besser genutzt werden kann. EMPA
Seite 7	Bundesamt für Energie
Seite 9,10	MEMS AG
Seite 11	Lauber IWISA AG
Seite 12	Bundesamt für Energie
Seite 13	ABB (oben), Energie Solaire SA (unten)
Seite 14	Bildung von Wasserstoffbläschen an PEC-Elektroden, Copyright Alain Herzog / EPF Lausanne
Seite 16	Paul Scherrer Institut (oben), EPFL-ISIC-LPI (Labor für Photonik und Grenzflächen) (unten)
Seite 17	Duttwiler Energietechnik
Seite 18	Bundesamt für Energie
Seite 19,20	Meyer Burger Research AG
Seite 21	Bundesamt für Energie: nach A. Lauber, T. Nussbaumer, «Praxiseinsatz und Überwachung von automatischen Holzfeuerungen mit Elektroabscheider», Verenum AG (oben), EPFL-ENA-IIE, Laboratory of Wind Engineering and Renewable Energy (unten)
Seite 22	Solarpark «Romande Energie-EPFL» mit einer Gesamtleistung von 2,1 MW, Daniel Forster, Copyright: NET Ltd./DanielForster.com
Seite 24,27	Bundesamt für Energie BFE
Seite 29	Innovatives Kontaktsystem zur Aufnahme von Strom-Spannungskennlinien und Elektrolumineszenz-Messungen an Busbar-freien Solarzellen, Pasan SA/Meyer Burger AG

Impressum:

Bundesamt für Energie
CH-3003 Bern
stefan.oberholzer@bfe.admin.ch



«Die Forschungsförderung durch das Bundesamt für Energie ist im Energiebereich eine wichtige Ergänzung zur Grundlagenforschung durch den Schweizerischen Nationalfonds (SNF) und zur marktnahen Innovationsförderung durch die Kommission für Technologie und Innovation (KTI). Sie zielt seit Jahren auch auf die Schnittstelle dieser beiden Bereiche ab, ähnlich wie das neue KTI/SNF-Programm «Bridge» es in einem weiteren technologischen Bereich auch beabsichtigt. Das BFE mit seinen Fördergeldern spielt aber auch eine wichtige Rolle bei der Einbindung der Schweizer Forscher in die internationalen Programme der IEA und der EU.»

**Dr. Tony Kaiser, Präsident der Eidgenössische
Energieforschungskommission (CORE)**

Bundesamt für Energie (BFE)
CH-3003 Bern

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