

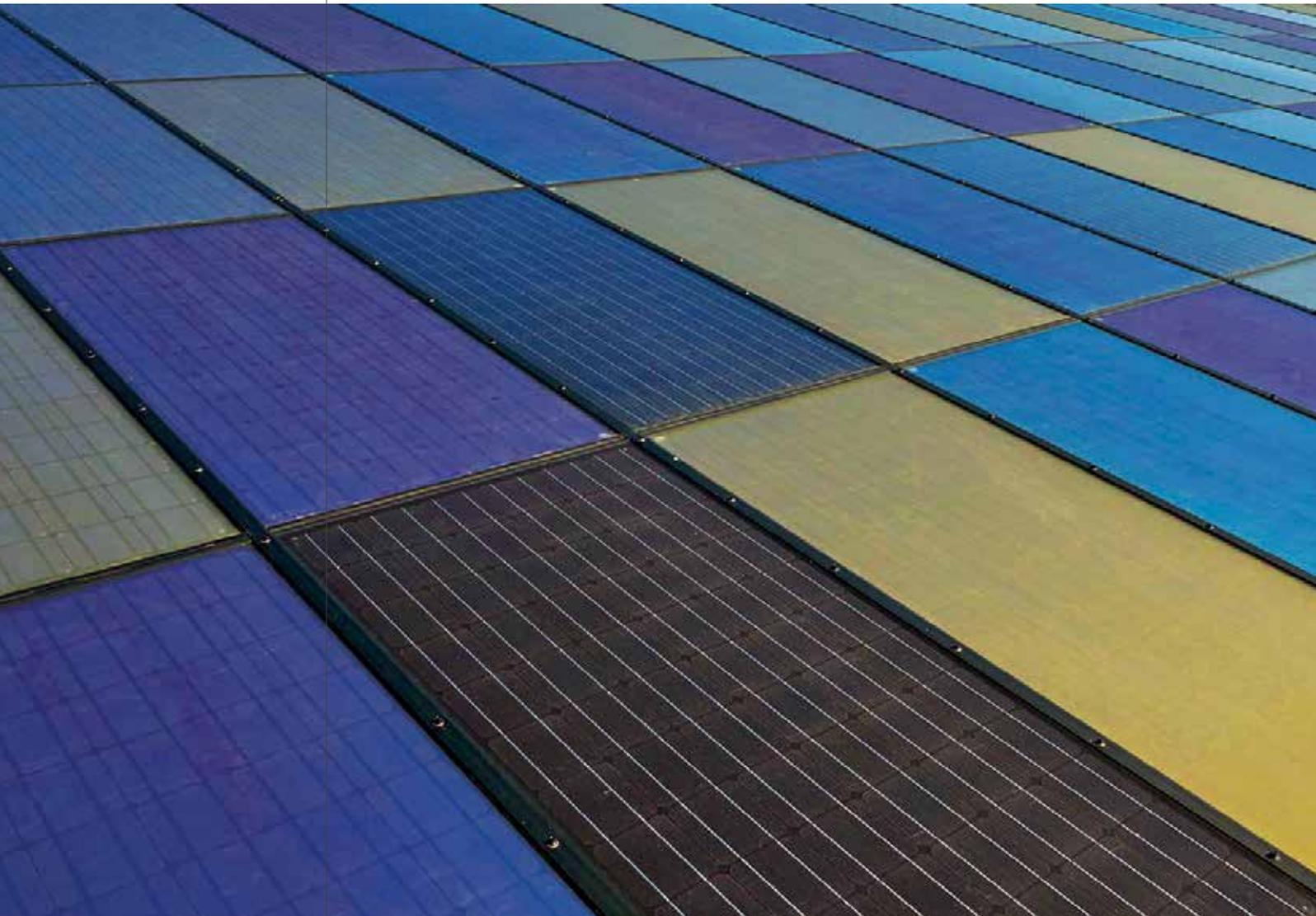


Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

**Bundesamt für Energie BFE**

# **Energieforschung und Innovation**

## **Bericht 2015**



*«Als auf energieeffiziente Fassaden und Fenster und Solarsysteme spezialisiertes Unternehmen schätzen wir das Bundesamt für Energie als langjährigen und zuverlässigen Partner, sei das direkt für die Unterstützung von P+D-Projekten, für den Zugang zu internationalen Projekten im Rahmen der IEA oder indirekt z. B. über die KTI zur Umsetzung von Innovationen. Dabei ist für uns das vom Bundesamt für Energie seit Langem konsequent geförderte Netzwerk an Instituten und Fachhochschulen besonders wichtig.»*

**Hans-Ruedi Schweizer,  
CEO und VR-Präsident Ernst Schweizer AG**



## EDITORIAL

Die Energieforschung in der Schweiz läuft auf Hochtouren: Mit den zwei Nationalen Forschungsprogrammen NFP «Energiewende» und «Steuerung des Energieverbrauchs», den acht Swiss Competence Centers for Energy Research SCCER und mit dem Schweizer Kompetenzzentrum für Photovoltaik wird das Thema so umfassend und interdisziplinär wie nie zuvor bearbeitet. Der Bund hat bedeutende Finanzmittel für den Aufbau von personellen Forschungskapazitäten bereitgestellt und gleichzeitig auch die Mittel des Bundesamts für Energie BFE für die Förderung von Pilot- und Demonstrationsprojekten sowie für die Innovationsförderung der Kommission für Technologie und Innovation markant erhöht.

Die Eidgenössische Energieforschungskommission CORE hat diese Entwicklungen im Energieforschungskonzept des Bundes 2017–2020 aufgenommen und die Zielrichtung der Schweizer Energieforschung weiter geschärft. An der 10. Energieforschungskonferenz im April 2016 wird das Konzept zusammen mit aktuellen Ergebnissen aus der Energieforschung präsentiert und diskutiert.

Die vorliegende Broschüre «Energieforschung und Innovation» widmet sich der Forschungs- und Innovationsförderung durch das BFE als eine der wichtigsten Förderinstitutionen der Schweiz im Energiebereich. Mit seinen Förderprogrammen für anwendungsorientierte Forschung, für Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte sowie mit dem Programm EnergieSchweiz begleitet das BFE Innovationen vom Labor bis in den Markt. Die hier vorgestellten Beispiele stehen stellvertretend für eine Vielzahl von Projekten, die zu den unterschiedlichsten Themenbereichen des Energieforschungskonzeptes des Bundes beitragen.



*Dr. Walter Steinmann  
Direktor*

# INHALT

Die Rolle des BFE in der Forschungs- und Innovationsförderung .....	3
Internationale Forschungszusammenarbeit im Energiebereich .....	4

## EFFIZIENTE ENERGIENUTZUNG

Augen im Verteilnetz .....	7
Sonnenstoren im Brennpunkt.....	9
Energieeffiziente Stärkeproduktion.....	11
«Smartes» Verteilnetz für den Photovoltaikausbau .....	13
Eine Million Kilometer mit Wasserstoff .....	13

## ERNEUERBARE ENERGIE

Tandemsolarzellen für mehr Power .....	15
Algen aus Gärresten und Überschusswärme.....	17
Windkraftanlagen und Vogelzug.....	19
Labortests zur Berechnung industrieller Methanproduktion .....	21
Thermohydraulik von Solaranlagen .....	21

## SOZIOÖKONOMISCHE ASPEKTE VON ENERGIE- TECHNOLOGIEN UND -SYSTEMEN

Kommunikations- und Planungsinstrumente für Windenergieanlagen .....	21
Standortsuche für geologische Tiefenlager.....	23
Konsumenten im Energiebereich besser verstehen .....	23

Zahlen und Fakten .....	26
Bildnachweis.....	28



## ENERGIEFORSCHUNG IN DER SCHWEIZ

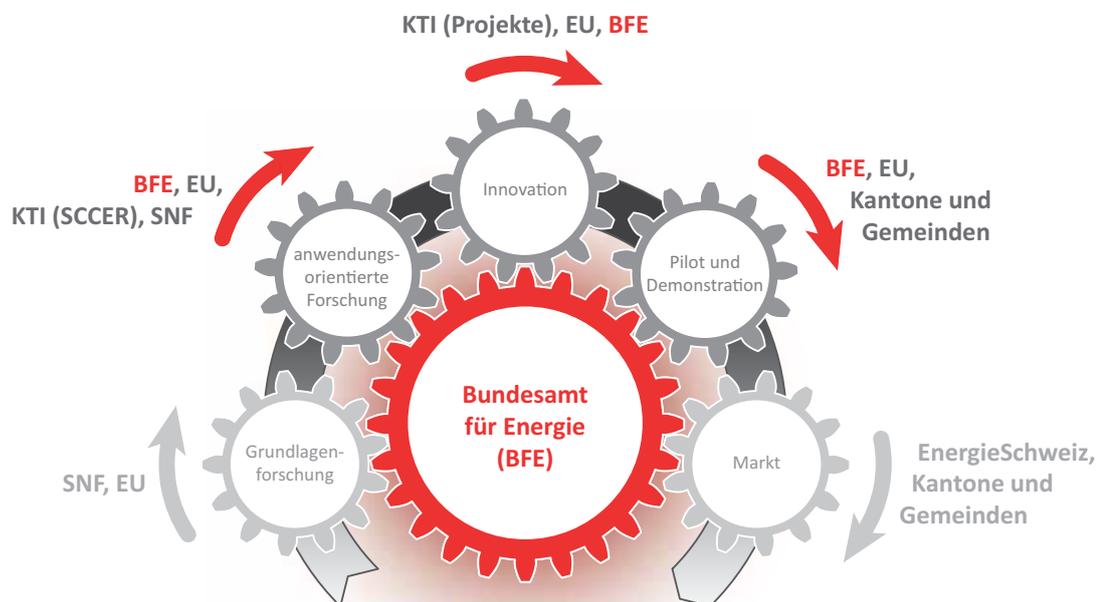
Die Fähigkeit zur Entwicklung neuer Ideen und deren Umsetzung im Markt stellt einen wesentlichen Faktor für die Wettbewerbsfähigkeit einer Volkswirtschaft dar. Der Schlüssel hierzu liegt in der Forschung, die am Anfang neuer Erkenntnisse und Ideen steht, aus denen innovative und konkurrenzfähige Produkte entstehen. Im

Zusammenhang mit der vom Bundesrat vorgeschlagenen «Energiestrategie 2050» und vor dem Grundsatzentscheid, aus der Kernenergie auszusteigen, trifft dies in besonderem Masse für die Forschung und Entwicklung im Energiebereich zu. Hier übernimmt das Bundesamt für Energie (BFE) zentrale wichtige Aufgaben.

### Die Rolle des BFE in der Forschungs- und Innovationsförderung

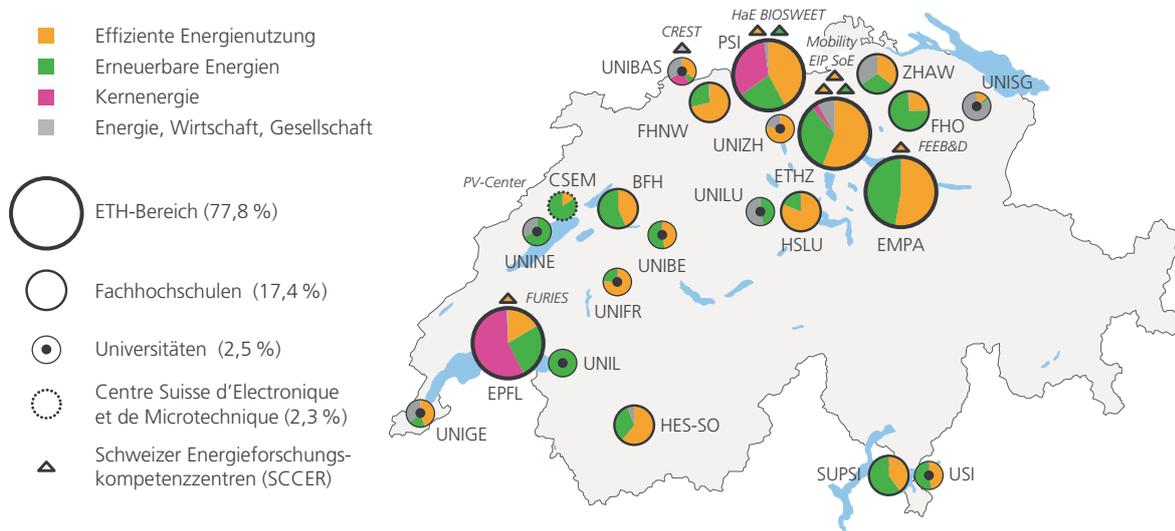
Das BFE fördert und koordiniert die nationale Energieforschung und unterstützt den Aufbau neuer Märkte für eine nachhaltige Energieversorgung. Um dieser Koordinationsaufgabe gerecht zu werden, setzt das BFE seine Mittel dafür ein, die Entwicklung innovativer Technologien und Konzepte nach einem programmatischen Ansatz gezielt weiter zu bringen. Dabei wird subsidiär dort gefördert, wo Lücken in der Förderlandschaft Schweiz bestehen. Auftragnehmer sind Private, der Bereich der Eidgenössischen Technischen Hochschulen, Fachhochschulen und Universitäten. Die unterstützten Projekte werden vom BFE fachlich begleitet,

wobei fallweise Experten und Vertreter anderer Förderstellen involviert sind. Durch Stellungnahmen fliesst die Expertise des BFE auch in die Beurteilung von Projektanträgen anderer nationalen, kantonalen, städtischen oder privaten Förderstellen ein. Weiter pflegt das BFE den regelmässigen Informationsaustausch zwischen verschiedenen nationalen Förderprogrammen und unterstützt Massnahmen zur allgemeinen Wissensvermittlung. Damit ist es mit allen Fördersegmenten entlang der gesamten Wertschöpfungskette eng verzahnt und sorgt für einen kontinuierlichen Wissenszuwachs und dessen Umsetzung in konkreten Anwendungen.



*In enger Zusammenarbeit mit den wichtigsten kompetitiven, öffentlichen Förderstellen unterstützt und koordiniert das Bundesamt für Energie (BFE) die Forschung und Innovation im Energiebereich über einen grossen Teil der Wertschöpfungskette. Dabei verfolgt das BFE einen programmatischen und subsidiären Ansatz, welcher sich nach dem «Energieforschungskonzept des Bundes» richtet. Neben der nationalen Vernetzung stellen auch die aktive Wissensvermittlung sowie der internationale Austausch zentrale Aktivitätsschwerpunkte dar (KTI = Kommission für Technologie und Innovation; EU = Europäische Union; SNF = Schweizerischer Nationalfonds).*

# ENERGIEFORSCHUNG IN DER SCHWEIZ UND INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT



**Aufwand in den vier Forschungsbereichen «Effiziente Energienutzung», «Erneuerbare Energien», «Kernenergie» und «Energie, Wirtschaft, Gesellschaft» an verschiedenen Schweizer Hochschulinstitutionen (Daten 2014). Im ETH-Bereich (ETH Zürich und Lausanne, Empa, PSI, Eawag und WSL) läuft der grösste Anteil der Schweizer Energieforschungsaktivitäten (78 %), gefolgt von den Fachhochschulen (17 %) und den kantonalen Universitäten (3 %).**

## Internationale Forschungszusammenarbeit im Energiebereich

Die internationale Zusammenarbeit in der Energieforschung hat in der Schweiz einen hohen Stellenwert. Das Bundesamt für Energie 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. So beteiligt sich die Schweiz über das Bundesamt für Energie an verschiedenen «Technology Collaboration Programmes» der IEA, vormals «Implementing Agreements» ([www.iea.org/tcp](http://www.iea.org/tcp)).

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.





## EFFIZIENTE ENERGIEENTZUG

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 Schweizer Energieforschungskompetenzzentren – fünf davon im Bereich der effizienten Energienutzung. Damit werden die Forschungskapazitäten

in den Bereichen 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.





## Augen im Verteilnetz

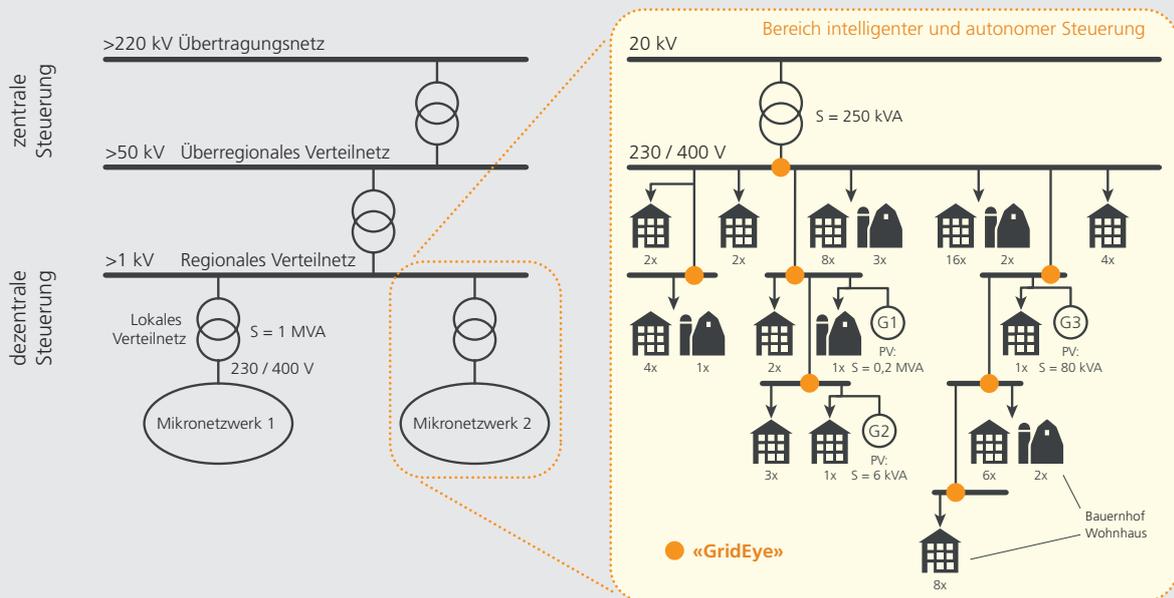
**Verschiedene Forschungsprojekte befassen sich mit Technologien für Monitoring und Steuerung von Stromverteilnetzen in Echtzeit. Die Systeme sollen in Netzen mit dezentralen Produktionsanlagen und Speichern eingesetzt werden, um deren «normgemässen» Betrieb sicherzustellen.**

**S**tromnetze, die eine möglichst kostengünstige und zuverlässige Integration erneuerbarer Energien erlauben, werden oft als «Smart Grid» bezeichnet. Gegenwärtig arbeiten mehrere Schweizer Projektteams an solchen Konzepten. Ausgangspunkt ist jeweils die Idee, das Verteilnetz an geeigneten Stellen mit Messgeräten auszurüsten und die dort gewonnenen Messdaten für die zentrale oder dezentrale Netzsteuerung zu verwenden.

Im System «GridBox», welches die BKW Energie AG und das Elektrizitätswerk der Stadt Zürich (ewz) derzeit austesten, werden zentral aufbereitete Messdaten dafür verwendet, dezentrale Produktionsanlagen, Speicher und Verbraucher so zu steuern, dass im Verteilnetz möglichst viele Anlagen ohne Beeinträchtigung ihrer Funktionalität betrieben werden können. Unter Umständen kann damit auch ein allfälliger Netzausbau vermieden werden. Da über die «GridBox» eine Vielzahl an Messparametern in kurzen Zeitabständen erfasst wird, lässt sich der Netzzustand qualitativ gut bestimmen und damit das Gesamtverteilnetz optimieren.

Dasselbe Ziel verfolgt das vom Energiekonzern Alpiq industrialisierte System «GridSense». Dieses besteht jedoch aus selbstständig arbeitenden Mess- und Steuerungsgeräten. Die eingesetzten Geräte arbeiten autonom, tauschen also weder Daten mit einer zentralen Einheit noch mit benachbarten Geräten aus. Sie messen lediglich die Spannungswerte, die über einen Algorithmus in Steuerbefehle lokal umgesetzt werden. Aufgrund dieser dezentralen Struktur funktioniert das «GridSense»-Konzept auch dann, wenn ein einzelnes Modul ausfällt – dies im Gegensatz zu zentral gesteuerten Systemen. Allerdings erfolgt dafür auch die Optimierung des Verteilnetzes lediglich in einer lokalen Umgebung.

Mit «GridEye» hat die Firma DEPsys – ein Start-up der Fachhochschule Yverdon – ein System entwickelt, welches die Vorteile beider Ansätze kombiniert. Auch hier werden Messboxen im Stromnetz eingebaut, welche die Spannung an den jeweiligen Netzpunkten messen. Die Informationen lassen sich zur Anzeige des Netzzustands nutzen: Die Industriellen Werke Yverdon setzen seit 2014 ein Dutzend sol-



**Das System «GridEye» misst die Spannung an den jeweiligen Netzpunkten im Verteilnetz und ermöglicht über eine intelligente und autonome Steuerung einen optimalen Betrieb im Verteilnetz.**

cher Messboxen ein, mit denen ein Netzgebiet mit etwa 1000 Stromkonsumenten überwacht wird.

In einer Weiterentwicklung hat die Firma DEPSys gemeinsam mit der ETH Lausanne und der Fachhochschule Yverdon einen neuartigen Algorithmus entwickelt, welcher die Module in die Lage versetzt, dezentrale Kraftwerke, Batteriespeicher oder Lasten in einem Niederspannungsnetz so zu steuern, dass Überlasten sowie normwidrige Spannungsschwankungen und -spitzen vermieden werden. In den kommenden Jahren will der Energieverteiler RomandeEnergie dieses neuartige Netzmonitoring- und -steuerungssystem in einem grossen Feldversuch testen.

«GridEye»-Module tauschen zwar untereinander Daten aus, müssen diese aber nicht zur Verarbeitung an einen zentralen Server übermitteln. Jedes der Module arbeitet somit dezentral und verarbeitet die Messdaten lokal in dem Netzknoten, an dem es installiert ist. Die Kerninnovation liegt in einem Algorithmus, mit welchem in Zeitintervallen von 60 Sekunden ein Kennwert berechnet wird, an dem sich ablesen lässt, welche Spannungsänderungen Ein- und Auspeisungen von im Netz verteilten Kraftwerken und Speichern an einem bestimmten Netzknoten zur Folge haben. Für die Datenkommunikation zwischen den einzelnen Modulen können verschiedene Technologien genutzt wer-

den: Datenübertragung über das Stromnetz, Radiofrequenztechnik oder GSM-Mobilfunknetze. Bei Bedarf können die dezentral aufbereiteten Daten so auch an ein zentrales Netzleitsystem übermittelt werden und erlauben damit eine Netzoptimierung über das gesamte Verteilnetz. Bei einer gestörten Datenübertragung ist zwar – wie bei anderen zentral gesteuerten Systemen – keine Gesamtoptimierung des Netzes mehr möglich, jedoch können die im Netz verteilten «GridEye»-Module unter Einbezug der Daten der Nachbarmodule weiterhin ein Quasi-Optimum anstreben.

*Benedikt Vogel, Michael Moser*



*Lichtmesscontainer bei der Hochschule Luzern in Horw: Aussen- (oben) und Innenansicht (unten).*

## Sonnenstoren im Brennpunkt

**Die Optimierung des Energiebedarfs in Gebäuden stellt eine der grossen Hoffnungen dar auf dem Weg in eine sparsame Energiezukunft, zugleich aber auch eine der grossen Herausforderungen. Die Ansprüche der Nutzer laufen einem energieoptimalen Betrieb oft entgegen. Genaue Kenntnisse dieser Ansprüche sind deshalb von zentraler Bedeutung zur Steigerung der Energieeffizienz. Dies trifft insbesondere auf Sonnenstoren als Gebäudeelemente zu.**

**S**onnenstoren müssen verschiedenen gegenläufigen Ansprüchen genügen: sie sollen vor Sonne schützen und gleichzeitig die Innenräume möglichst wenig abdunkeln, damit nicht mit Kunstlicht Energie verschwendet werden muss. Der Schutz vor dem Sonnenlicht ist in den vergangenen Jahren anspruchsvoller geworden: bei Arbeitsplätzen mit Bildschirmen stört das Sonnenlicht immer häufiger, weshalb die Storen immer konsequenter auch dann geschlossen werden, wenn die Sonnenenergie eigentlich zur

Erwärmung und Beleuchtung der Räume erwünscht wäre.

Im Rahmen eines Projektes der Estia SA – ein Spin-off der ETH Lausanne – wurde während eines ganzen Jahres die Position der Storen an drei Bürogebäuden untersucht. Mit auf Nachbargebäuden installierten Webcams wurden stündlich insgesamt 125 Fenster fotografiert, die alle mit manuell bedienten Storen ausgerüstet waren. Eine der Fassaden war gegen Osten ausgerichtet, eine zweite nach Süden und die dritte nach Westen.

Die Kameras machten im gesamten Zeitraum über 500'000 Aufnahmen. Auf der Grundlage dieser Photos hat Estia alle Bewegungen der Storen erfasst und ausgewertet. Fazit: Die Benutzer sind sehr schlechte Verwalter ihres Sonnenschutzes. So wurden pro Woche und Fenster durchschnittlich gerade einmal 1,74 Bewegungen registriert. Nur 12 % der Bürobutzer veränderten die Position der Storen mehr als vier Mal pro Woche. Die Storen wurden nur dann bedient, wenn die Nutzer durch die Sonne geblendet wurden. Zu einem spä-



*Westfassade eines Bürogebäudes mit manuell bedienten Storen an einem bedeckten Tag: Die Nutzung der Storen erfolgt zufällig und nur ein Teil befindet sich in zweckmässiger Position (rot). In einigen Büros brennt Licht, während die Storen teilweise heruntergelassen sind (gelb).*

teren Zeitpunkt wurde nicht daran gedacht, diese wieder hochzuziehen.

Die Studie ging der Frage nach, ob automatisierte Storen zu besseren Ergebnissen führen im Vergleich zu manuell bedienten. Dabei konnte gezeigt werden, dass je nach Automatik Einsparungen bei den Betriebszeiten der Beleuchtung von 17–20 % erreicht werden. Diese Berechnungen beruhen auf einer Helligkeitsanforderung in den Büros von 500 Lux, so wie sie die SIA-Norm festlegt. Im Rahmen der Studie wurde allerdings festgestellt, dass in den Büros heute oft nur bei 150 Lux gearbeitet wird, weil die Leute auf den Bildschirm konzentriert sind und nur sporadisch auf Licht auf dem Arbeitsplatz angewiesen sind. Bei diesem geringeren Helligkeitswert fällt der Vorteil noch grösser aus: die Einsparungen liegen bei 27–35 %.

Die Hochschule Luzern liess Anfang 2014 einen Versuchscontainer errichten, mit dem ein Arbeitsplatz immer exakt nach der Sonne ausgerichtet werden kann. Dieser drehbare Messcontainer machte es möglich, die Auswirkungen von verschiedenen Typen von Sonnenstoren auf die Qualität der Beleuchtung am Arbeitsplatz zu untersuchen. Sieben marktübliche Sonnenschutzsysteme wurden analysiert und dabei auch die Herstellerangaben zur Lichtdurchlässigkeit einer kritischen Prüfung unterzogen. Eine überraschende Erkenntnis betrifft den Unterschied zwischen Rafflamellenstoren und vertikalen Stoffstoren. Bis anhin war die Auffassung verbreitet, Rafflamellen würden – wenn die Lamellen horizontal geöffnet sind – grundsätzlich mehr Tageslicht in die Räume lassen als Stoffstoren. Diese Annahme wurde durch die Messungen der Luzerner Forscher

nicht bestätigt. Vielmehr schneiden Raff- und Stoffstoren bezüglich Lichtdurchlässigkeit ungefähr gleich gut ab, wenn beide die gleiche Farbe haben. Beiden Storentypen sollten in dunklen Farbtönen nicht mehr eingesetzt werden, da sie die Nutzung des Tageslichts zu stark beeinträchtigen.

Auch bei dieser Studie wurde die Wichtigkeit der Steuerung hervorgehoben: die in der Gebäudeautomation hinterlegte Fahrstrategie ist für die Nutzung des Tageslichts von entscheidender Bedeutung, mitunter wichtiger als Form und Material der Storen selbst. Bei beiden Studien wurde darauf hingewiesen, dass die Storensteuerung nicht zu komplex werden darf: sie wird sonst anfällig auf Störungen. Häufige Bewegungen der Storen stören die Nutzer und verringern dadurch die Akzeptanz der Steuerung.

*Rolf Moser*



*Der Extruder ist die Hauptkomponente der neuen Anlage der Meyerhans Mühlen zur Herstellung eines Stärkeprodukts für die Papierindustrie.*

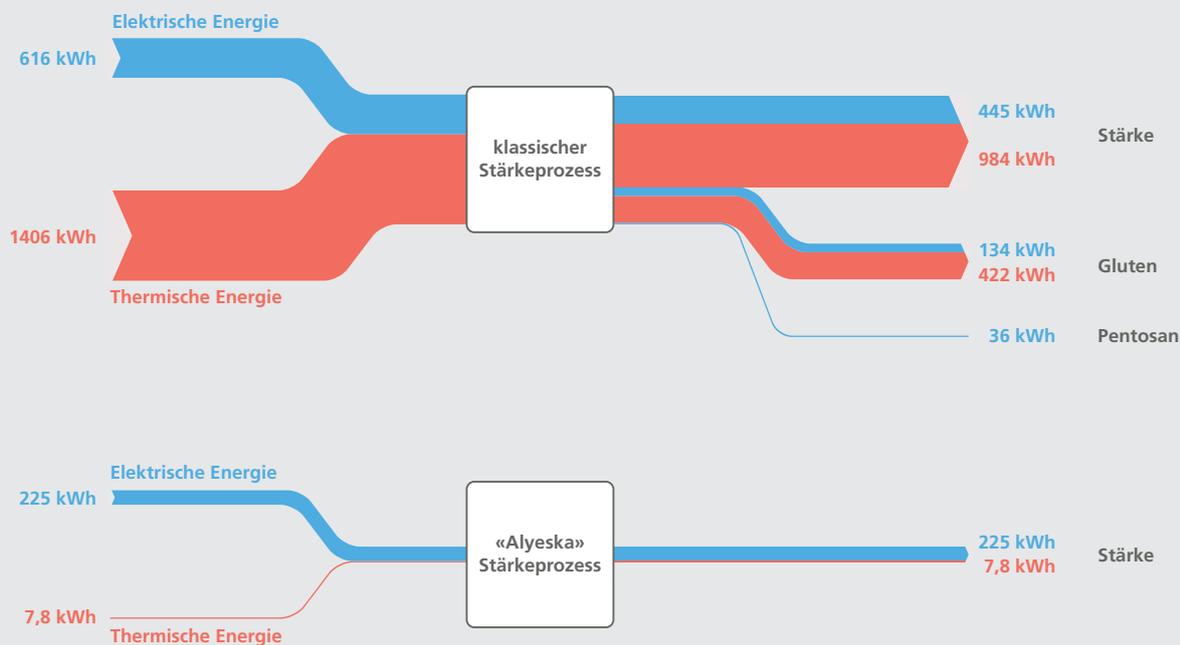
## Energieeffiziente Stärkeproduktion

Schweizer Getreidemühlen stehen wegen Überkapazitäten in der Mehlproduktion und dem zunehmenden Import von Teiglingen und Backprodukten unter Margendruck. Vor diesem Hintergrund hat die Meyerhans Mühlen AG aus Weinfelden (TG) einen innovativen Produktionsprozess entwickelt, mit dem sie aus Weizenmehl ein Stärkeprodukt für die Papierindustrie herstellt. Dieses Stärkeprodukt ist gegenüber Importprodukten konkurrenzfähig, insbesondere deshalb, weil der innovative Herstellungsprozess mit deutlich weniger Energie auskommt.

**A**ls leichtes und stabiles Verpackungsmaterial ist Wellkarton sehr beliebt. Über 350'000 Tonnen wurden von der Schweizer Papierindustrie 2014 davon produziert. Damit der Wellkarton die ge-

wünschte Festigkeit erhält, wird er bei der Herstellung mit Stärke versteift. Den dafür benötigten Stärkekeim stellen die Papierfabriken in der Regel selber aus importierter Weizen-, Kartoffel- oder Maisstärke her. In einem herkömmlichen

Herstellungsverfahren kommt dabei ein energieintensiver Nassprozess zur Anwendung: das Ausgangsprodukt Weizenmehl wird mit 55 °C warmem Wasser zu einem Teig angesetzt, der anschließend in mehreren Prozessschritten



**Sankey-Diagramm (Mengenflussdiagramm) bezogen auf eine Tonne Stärkeprodukt: Der innovative Prozess «Alyeska» (unten) zur Stärkeproduktion benötigt deutlich weniger thermische (rot) und elektrische (blau) Energie als der herkömmliche Prozess zur Stärkeproduktion (oben).**

und unter Verwendung von elektrischer Energie in die Bestandteile Stärke, Gluten (Klebereiweiss) und Pentosane (Schleimstoffe) aufgespalten wird. Die Stärke muss anschliessend getrocknet werden, wozu Wärmeenergie in erheblichem Umfang benötigt wird. Schliesslich liegt die Stärke in pulverförmiger Form vor.

Das Unternehmen Meyerhans Mühlen hat ein neues Herstellungsverfahren entwickelt, um aus Weizenmehl direkt ein Stärkeprodukt für die Papierindustrie herzustellen. In einem komplett neuen Prozess wird ein sogenannter Extruder verwendet, mit dem das mit Prozesshilfsstoffen versetzte Weizen-

mehl mittels Förderschnecke durch eine Lochplatte gepresst wird. Dabei entstehen Pellets, die anschliessend fein vermahlen werden. Als Endprodukt liegt dann ein Stärkeprodukt vor, in dem die Stärke bereits in aufgeschlossener Form vorliegt. Dieses kann so in der Papierfabrik direkt zur Herstellung von Stärkeleim verwendet werden.

Das neuartige Verfahren hat gegenüber dem konventionellen Nassverfahren den Vorteil, dass bei der Stärkeherstellung der doppelte Prozessschritt mit Erhitzung und anschliessender Trocknung entfällt und dadurch Energie in grossem Umfang eingespart werden kann. Vorteilhaft ist der neue Prozess

auch für die Papierfabrik: da die Stärke bereits in aufgeschlossener Form vorliegt und keine natürliche Stärke zur Leimherstellung verwendet werden muss, können die beiden energieintensiven Prozessschritte oxidativer/enzymatischer Abbau der Stärke sowie Aufschluss der Stärke durch Dampfinjektion eingespart werden. Gegenüber der konventionellen Stärkeproduktion mit Nassprozess kommt das neue Verfahren so mit 84 % weniger Energie aus – der Strombedarf wird um 49 %, der Wärmebedarf um 99 % gesenkt.

*Benedikt Vogel*



## KURZ BERICHTET ...



*Ein Citaro FuelCell von PostAuto unterwegs zwischen Birnenstorf und Gebenstorf.*

### «Smartes» Verteilnetz für den Photovoltaikausbau

Eine grössere Anzahl von Photovoltaikanlagen kann bei maximaler Einspeisung und gleichzeitig schwacher Last zu unzulässigen Spannungserhöhungen im Verteilnetz führen. Im Projekt «Smart Grid Eich» wurde dazu von der Firma Basler & Hofmann zusammen mit Partnern eine Lösung entwickelt, welche ohne eine lokale Verstärkung des Netzes oder andere teure Lösungen wie ein aktives Lastmanagement oder Batteriespeicher auskommt. Bei den in einer Überbauung in Frenkendorf (BL) installierten 29 Photovoltaikanlagen wird die lokal gemessene Spannung im Verteilnetz überwacht und an die Leitstelle des lokalen Netzbetreibers weitergeleitet. Steigt die Netzspannung zu stark an, werden die einzelnen Photovoltaikanlagen dynamisch geregelt, in dem bei einer geringen Abweichung zunächst nur die Blindleistung angepasst wird; bei starken Spannungserhöhungen wird auch die Wirkleistung der Anlagen reduziert. Im Gegensatz zu einer statischen Regelung kann so ein Energieertragsverlust grösstenteils vermieden werden.

*Stefan Oberholzer*

### Eine Million Kilometer mit Wasserstoff

Seit mehr als vier Jahren setzt die PostAuto Schweiz AG in der Region Brugg fünf Brennstoffzellenbusse im regulären Postautobetrieb auf 14 verschiedenen Linien ein. Der Feldversuch findet im Rahmen eines grossen Europäischen Projektes (CHIC) statt, wo im Fahrprofil der Postautos speziell der Überlandeinsatz getestet wird.

Aus dem Projekt konnten bis heute wertvolle Erkenntnisse mit dieser alternativen Antriebstechnologie im öffentlichen Verkehr gewonnen werden, speziell auch mit dem Betrieb der schweizweit ersten Wasserstofftankstelle. Der Wasserstoff wird dort elektrolytisch aus erneuerbaren Energiequellen produziert, womit bis zum heutigen Zeitpunkt der Ausstoss von 1200 Tonnen CO<sub>2</sub> vermieden werden konnte.

*Stefan Oberholzer*

*Durch eine dynamische Regelung der Blind- und Wirkleistung von Photovoltaikanlagen können unzulässige Spannungserhöhungen im Verteilnetz vermieden werden, ohne zusätzliche Netzverstärkungen und ohne Energieertragsverlust. Dies wird im Pilotprojekt «Smart Grid Eich» erfolgreich aufgezeigt.*

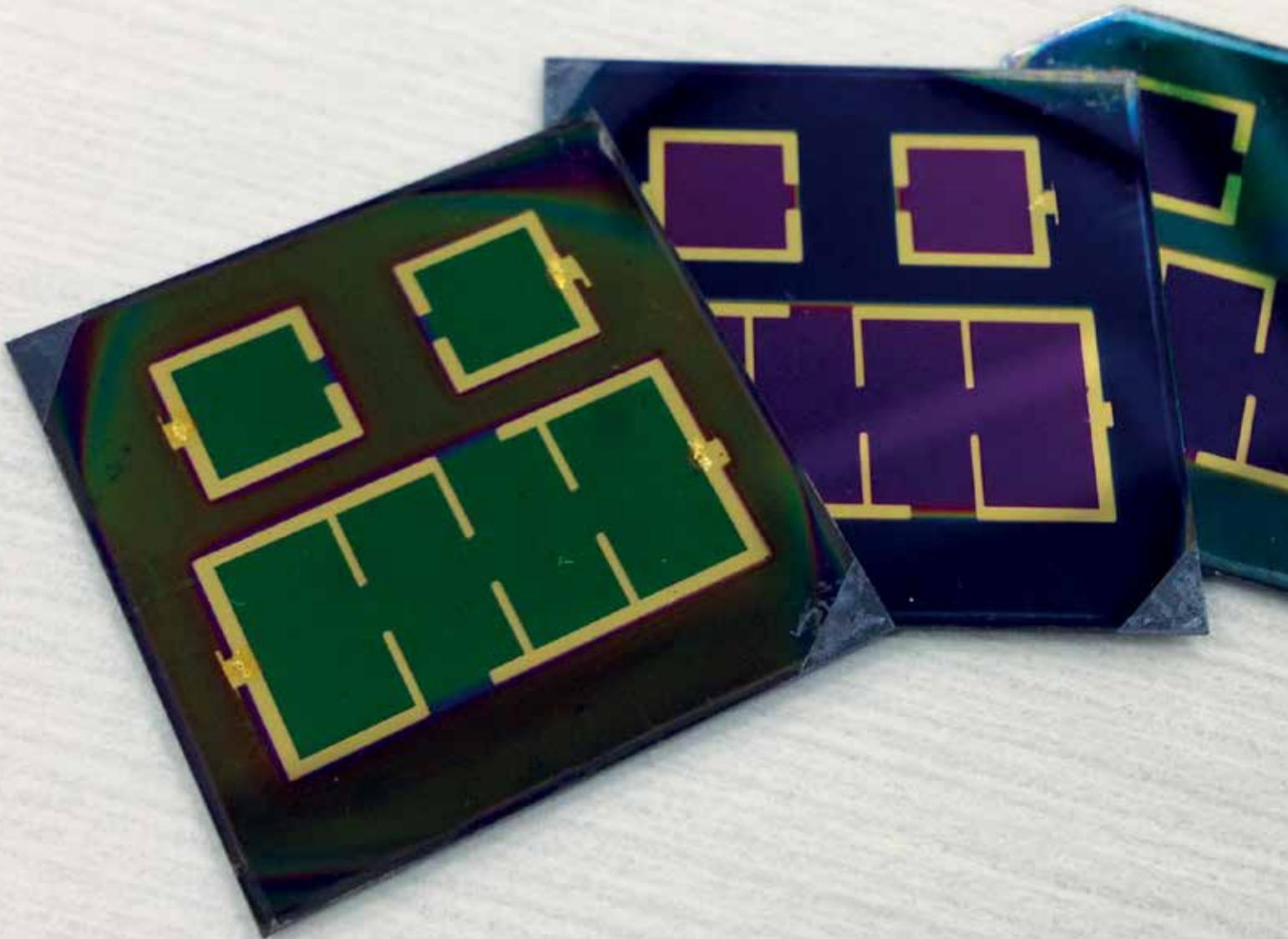




## ERNEUERBARE ENERGIE

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.





## Tandemsolarzellen für mehr Power

**Die im letzten Jahrzehnt erfolgte Kostenreduktion von Photovoltaikstrom in der Grössenordnung von 80 % wurde von den meisten Experten so nicht vorausgesehen. Heute ist Strom aus Photovoltaikanlagen in verschiedenen Ländern konkurrenzfähig – sowohl mit anderen erneuerbaren Energien als auch mit fossiler und nuklearer Stromproduktion. Eine Steigerung der Moduleffizienzen wird eine weitere deutliche Reduktion der Kosten ermöglichen.**

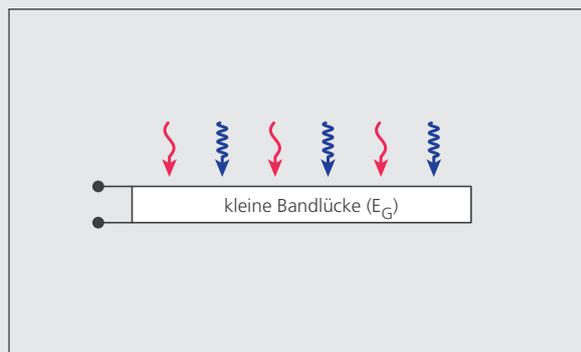
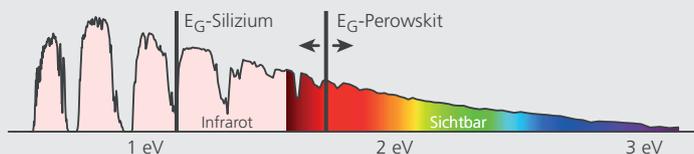
**H**eute dominieren Solarzellen basierend auf kristallinem Silizium (Si) den Photovoltaikmarkt mit einem Anteil von über 90 %. In den letzten Jahren hat diese Technologie eine Kostenreduktion bei einer Verdoppelung der Produktion von 25 % und mehr erfahren. Wichtige Faktoren sind hier zum einen Skaleneffekte (Industrialisierung), zum andern aber auch eine technologische Weiterentwicklung wie beispielsweise eine starke Verringerung des Materialeinsatzes. Gleichzeitig stieg der Anteil der System- im Vergleich zu den Modulkosten stark an und macht heute bei einer typischen Dachanlage mehr als 50 % aus. Eine substanziale Steigerung des Wirkungsgrades von Photovoltaikmodulen könnte diesen Kostenanteil (Montage, Land, Wartung usw.) stark verringern.

Die Wirkungsgrade von kristallinen Si-Solarzellen wurde seit der Jahrtausendwende im Labor nur geringfügig von 25,0 auf 25,6 % erhöht. Diese Werte liegen nahe am theoretischen Maximum – für Silizium 29,4 %. Die Grenze ist da-

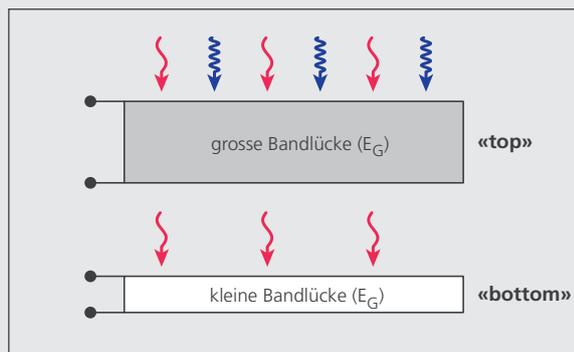
durch gegeben, dass Solarzellen mit lediglich einer Absorberschicht nur den Teil des Sonnenspektrums nützen können, dessen Energie grösser als die Energielücke (Bandlücke) des verwendeten Halbleitermaterials ist (siehe Abbildung Seite 16). Höherenergetisches Licht wird mehrheitlich in Wärme umgewandelt und trägt nicht zur Elektrizitätsproduktion bei. Konventionelle Si-Zellen sind daher für einen Teil des solaren Spektrums unempfindlich, sowohl im höherenergetischen (blauen), als auch im niederenergetischen (Infrarot-)Teil.

Eine Möglichkeit, das solare Spektrum besser auszunutzen, besteht darin, zwei Solarzellen mit unterschiedlichem Absorbermaterial aufeinander zu stapeln. Solche Konzepte werden bereits erfolgreich auf Zellentechnologien mit relativ geringer Effizienz, als auch auf äusserst effiziente – aber auch sehr teure – Photovoltaiksysteme angewendet. Relativ neu ist der Ansatz, Tandemzellen in Kombination mit kristallinen Si-Zellen oder auch mit Solarzellen basierend auf dem Absorbermaterial Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid (CIGS) zu

### Solares Spektrum in Abhängigkeit der Energie



Einfachzelle: max. Effizienz: 33 %



Tandemzelle: max. Effizienz: 46 %

**Einfachsolarzellen mit nur einem absorbierenden Material (links) können nur den Teil des Sonnenspektrums verwerten, dessen Energie grösser als die Bandlückenenergie des verwendeten Halbleitermaterials ist. Licht mit einer deutlich «zu grossen» Energie wird in Wärme umgesetzt. Bei Tandemsolarzellen (rechts) kombiniert man Materialien unterschiedlicher Bandlücken, so dass die obere Zelle höherenergetisches Licht absorbiert und für rotes Licht transparent ist, welches von der unteren Zelle absorbiert wird.**

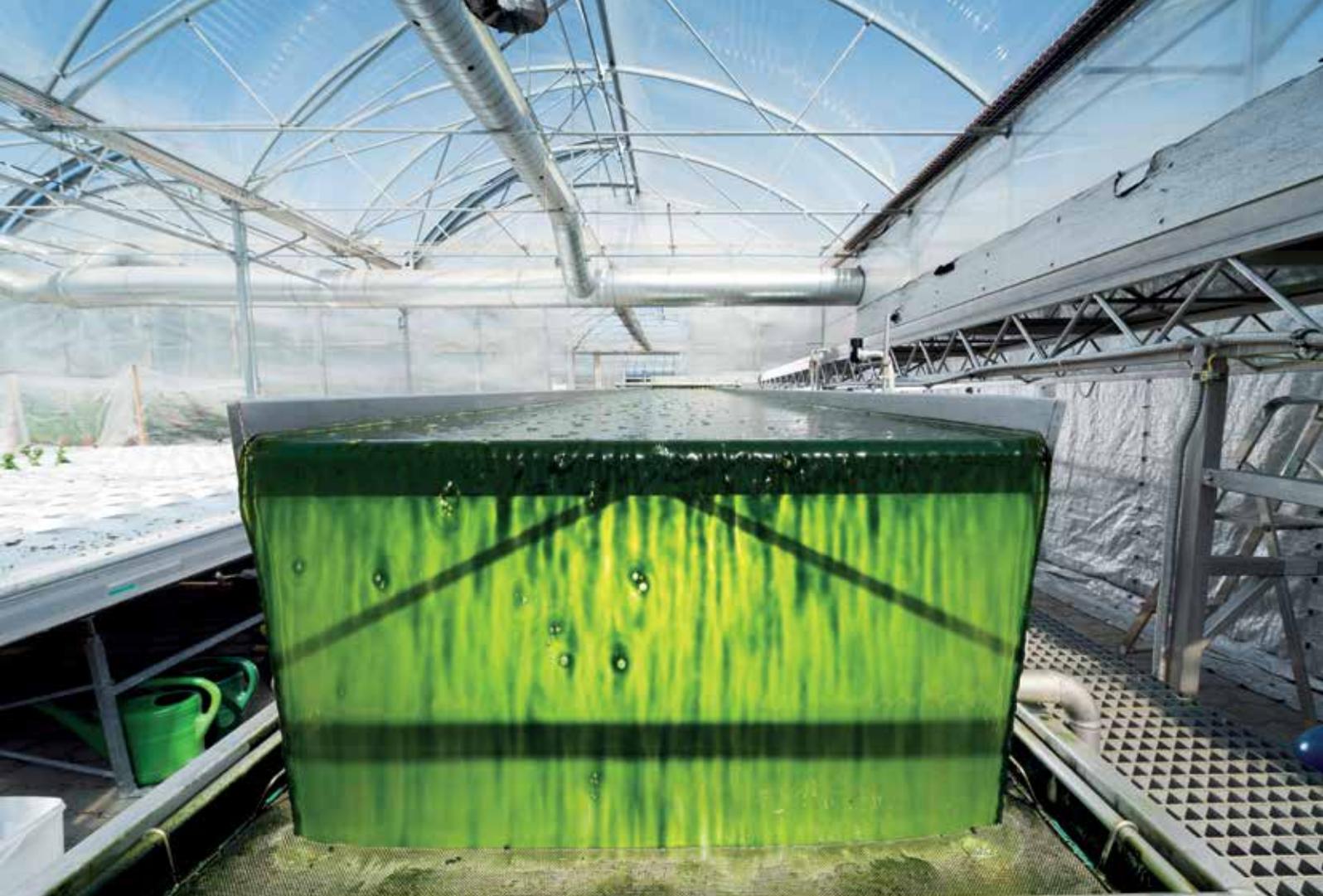
entwickeln. Die Schwierigkeit besteht darin, geeignete und vor allem kostengünstige «Top»-Zellen mit grösserer Bandlücke zu finden, welche das blaue Licht absorbieren, jedoch für den Infrarotanteil des Sonnenlichts transparent sind. Als vielversprechend werden hier die in den letzten Jahren neu entwickelten Perowskitsolarzellen angesehen. Die Effizienz solcher Zellen konnte im Labor innerhalb von sechs Jahren von unter vier auf über 20 % erhöht werden. Ein weltweiter Rekordwert von 21,02 % wird seit letztem Jahr von der Eidgenössischen Technischen Hochschule Lausanne (EPFL) gehalten.

In der Schweiz gehören verschiedene Forschungseinrichtungen – an der Empa, an der EPFL in Neuchâ-

tel und Lausanne sowie am Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique (CSEM) – zu den weltweit führenden Labors, dies auf unterschiedlichen Zelltechnologien: CIGS, Perowskitzellen, aber auch kristalline Si-Zellen, hier insbesondere im Bereich der sogenannten Heterojunctionstechnologie. Bei der Entwicklung neuer Tandemzellen arbeiten diese Gruppen zusammen mit entsprechenden Synergieeffekten. In aktuellen Projekten werden verschiedene Möglichkeiten zur Kombination von Perowskitsolarzellen mit kristallinen Si- oder CIGS-Zellen weiterentwickelt. So können beispielsweise die untere und obere Zelle zunächst einzeln prozessiert und anschliessend mechanisch zusammengefügt werden, oder beide Zellen werden se-

quentiell (monolithisch) aufgebaut. Je nach Ansatz ergeben sich hier unterschiedliche Herausforderungen: im ersten Fall sind vier gut leitende Kontaktelektroden notwendig, wovon drei möglichst transparent sein sollten. Im zweiten Ansatz müssen unterschiedliche Prozessparameter (z. B. die Temperatur) der verschiedenen Zelltechnologien aufeinander abgestimmt werden. Die EPFL in Neuchâtel zusammen mit dem CSEM hat hierzu Anfang 2016 erstmals eine stabile monolithische Tandemzelle bestehend aus einer Perowskit- und einer Si-Heterojunctionzelle präsentiert, deren Effizienz deutlich über derjenigen der Einzelzellen liegt.

Stefan Oberholzer



*Eine Kultur der Grünalge Chlorella vulgaris im offenen Dünnschicht-Photobioreaktor an der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW.*

## Algen aus Gärresten und Überschusswärme

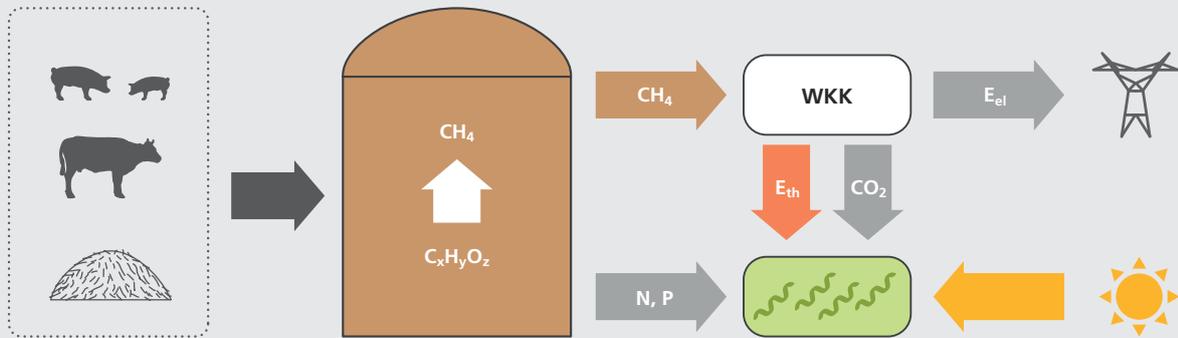
**Die Kopplung von landwirtschaftlichen Biogasanlagen mit Spirulina-(Blualgen-)Produktionseinheiten stellt ein attraktives Konzept dar, um aus Restströmen der anaeroben Vergärung zusammen mit Biogas ein Produkt mit Mehrwert herzustellen. Das Prinzip ermöglicht eine bessere Energierückgewinnung aus der Abwärme und den Abgasen der mit der Biogasanlage eingesetzten Wärme-Kraft-Kopplungs-Anlage.**

**D**ie meisten landwirtschaftlichen Biogasanlagen in der Schweiz nutzen das aus Dung und Co-Substraten gewonnene Gas in einer Wärme-Kraft-Kopplungs (WKK)-Anlage zur Erzeugung von Strom und Wärme. Derzeit werden jedoch kaum mehr als 20 %

der Wärme genutzt, was den energetischen Gesamtnutzen begrenzt. Daher ziehen immer mehr landwirtschaftliche Biogasprojekte in Europa die Kopplung mit einer Produktionsanlage für Mikroalgen (Spirulina) in Betracht, welche diese Wärme sinnvoll nutzen kann. Ausserdem erlaubt eine solche Ver-

bindung eine Rückgewinnungsverfahren der im Gärrest enthaltenen Nährstoffe (vor allem Stickstoff und Phosphor) und die Nutzung des im Abgas der WKK-Anlage enthaltenen Kohlendioxid.

Die Mikroalgen der Gattung Spirulina (Arthrospira platensis und Ar-



**Kopplung einer landwirtschaftlichen Biogasanlagen mit Spirulina-(Blualgen-)Produktionseinheiten.**

throspira maxima) sind für eine solche Anwendung besonders interessant, da dieses Cyanobakterium eine hohe Wachstumsrate aufweist und durch die fadenförmige Morphologie von nebeneinander liegenden Zellen leicht zu ernten ist. Dieses Bakterium ist reich an Eiweissen, Vitaminen, essentiellen Amino- und Fettsäuren sowie Mineralstoffen. Es stellt daher eine wichtige Nahrungsquelle dar und dementsprechend wird diese Mikroalgenart weltweit am meisten kultiviert. Auf dem Schweizer Markt werden Spirulina-Produkte vor allem als Nahrungsergänzungsmittel angeboten. Der grösste Teil der Versorgung erfolgt durch Importe aus dem Ausland.

Eine Studie ging der Frage nach, ob eine in landwirtschaftliche Biogasanlagen eingebundene Produktion von Spirulina in der Schweiz tech-

nisch machbar und wirtschaftlich interessant sein könnte. Dazu wurde ein Evaluationsmodell entwickelt unter Einbezug der Referenzgrösse von landwirtschaftlichen Biogasanlagen, der durchschnittlichen Sonneneinstrahlung in der Schweiz, der verschiedenen Typen von Mikroalgen-Produktionsanlagen (offene Beckensysteme oder geschlossene Photo-Bioreaktoren) sowie der verschiedenen Wachstumparametern für Spirulina-Algen. Das Modell wurde dann eingesetzt, um verschiedene Szenarien zu bewerten, je nach Quellen von Kohlen- und Nährstoffen, den solaren Einstrahlungsbedingungen und den Einspeisebedingungen für den über die Biogasanlagen erzeugten Strom, wobei als Hauptkriterium für die Dimensionierung einer solchen Anlage deren Energieautonomie angesetzt wurde.

Die Ergebnisse zeigten, dass auf Grund der solaren Einstrahlungsbedingungen in der Schweiz nur eine mässige Spirulina-Algenproduktion möglich ist (7 g/m<sup>2</sup>/Tag bzw. 0,14 g/L/Tag). Über 50 % der überschüssigen Wärme der WKK-Anlage (enthalten im Abgas) könnten bei einer Kopplung mit Spirulina Produktion genutzt werden. Die Verwendung des Abgases aus der WKK-Anlage als Kohlenstoffquelle wäre prinzipiell möglich. Was die Nutzung von Gärresten anbelangt, würde deren Nutzung das Algenwachstum auf Grund einer limitierten Lichtdurchlässigkeit im Vergleich zur externen Zufuhr von Nährstoffen stark verringern. Wirtschaftlich betrachtet wäre die Kopplung einer Biogas- mit einer Algenproduktionsanlage für keines der untersuchten Szenarien interessant.

*Nuria Montpart*



*Tranekte im Umkreis von 100 m um eine Windturbine im Schnee am Standort Peuchapatte entlang welcher die Suche nach Schlagopfern stattgefunden hat.*

## Windkraftanlagen und Vogelzug

**Als eines der Argumente gegen einen Ausbau der Windenergie wird oftmals der Vogelschutz aufgeführt. Es ist unbestritten, dass Vögel an Windturbinen verunfallen können. Weniger gut bekannt ist hingegen die tatsächliche Zahl der Unfälle.**

**Z**ugvögel begegnen auf ihrem Weg in Winter- oder Brutgebiete unter Umständen zahlreichen Windturbinen. Daher ist die Kenntnis des Zusammenhangs zwischen Vogelzugintensität und der Anzahl Schlagopfer unter Windturbinen von zentraler Bedeutung, damit Minderungsmaßnahmen festgelegt werden können. Studien,

die rund um die Uhr ermitteln, wie viele Vögel an einem Standort durchziehen und dort gleichzeitig die Anzahl der Schlagopfer unter den Windturbinen erfassen, fehlen aber gänzlich. Eine wissenschaftlich fundierte Untersuchung mit drei Windturbinen am Standort «Peuchapatte» im Kanton Jura soll zur Schliessung dieser Kenntnislücke einen Beitrag leisten.

Dazu werden ergänzend zur Suche nach Schlagopfern kontinuierliche, quantitative Radarmessungen durchgeführt, um die Vogelzugintensität zu bestimmen.

Die Problematik bei der Suche nach Schlagopfern am Boden (Vögel und Fledermäuse) besteht darin, dass nicht alle Opfer gefunden werden können. Einerseits ist



*Fuchs in der Abenddämmerung/Nachts im nahen Umkreis einer Windturbine. Die Bilder stammen von einer Photofalle.*

die Wahrscheinlichkeit, dass man ein Schlagopfer findet, abhängig von der Übersichtlichkeit des Geländes (Höhe und Dichte der Vegetation), von der Grösse des Kadavers, von der Intensität der Suche und von den Fähigkeiten der suchenden Person. Andererseits verschwindet ein unbekannter Anteil der Schlagopfer auf natürliche Art und Weise (Aasfresser, Verwesung), was wiederum von diversen Faktoren wie Temperatur und Feuchtigkeit beeinflusst wird. Aus diesen Gründen müssen bei Schlagopferstudien immer auch die Entdeckungswahrscheinlichkeiten und die Verschwinderaten unter verschiedenen Bedingungen bestimmt und bei der Analyse berücksichtigt werden. Diese Zusatzinformationen können nur mit sys-

tematischen Experimenten gewonnen werden, bei welchen gezielt Kadaver ausgelegt werden. Je kleiner die Wahrscheinlichkeit ist, dass ein Kadaver gefunden wird, umso grösser ist die Ungenauigkeit bei der Berechnung der tatsächlichen Anzahl Schlagopfer.

Um eine möglichst hohe Wahrscheinlichkeit der Entdeckung von Schlagopfern zu erreichen, wurde am Standort «Peuchapatte» eine hohe Suchfrequenz in einem engmaschigen Netz gewählt. Jede der drei Windturbinen wurde zwischen März 2015 und November 2015 durchschnittlich alle drei Tage nach Schlagopfern abgesucht. Die Suche erfolgte im Umkreis von 50 bis 100 m entlang paralleler Linien mit einem Abstand von 5 m. Gleichzei-

tig wurden alle zwei Wochen mehrere Vogel- und Feldmäusekadaver (stellvertretend für Fledermäuse) ausgelegt, um zu testen, wie lange diese vor Ort liegen bleiben. Zudem wurden im Verlauf der Untersuchung regelmässig ohne Wissen der suchenden Personen Testkadaver und Fledermausattrappen ausgelegt, um die Sucheffizienz zu bestimmen. Einige Kadaver wurden im Überwachungsbereich von Photofallen platziert, um qualitativ festzuhalten, was vor Ort mit einem Kadaver geschieht. Die aufgenommenen Daten werden zurzeit ausgewertet und die Ergebnisse werden demnächst auf [www.energieforschung.ch](http://www.energieforschung.ch) veröffentlicht.

*Janine Aschwanden*

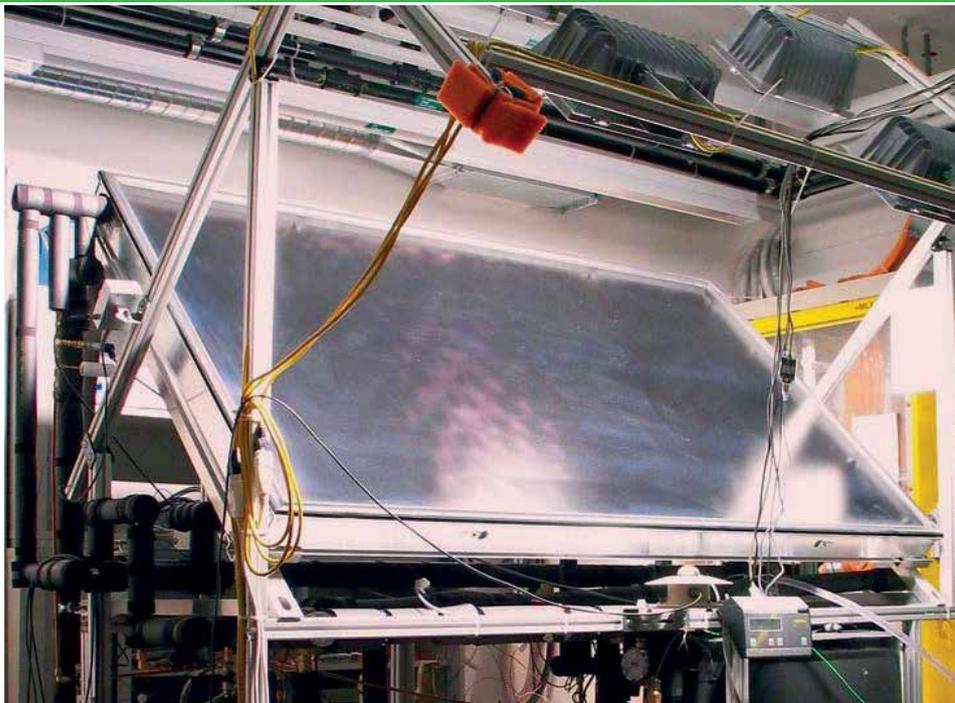


## KURZ BERICHTET ...

### Thermohydraulik von Solaranlagen

**E**in wichtiger Schlüssel zur Kostensenkung in der Solarthermie ist die thermohydraulische Modellierung und Simulation. Im Rahmen einer Dissertation an der ETH Zürich wurden verschiedene thermohydraulische Methoden und Werkzeuge entwickelt und anschliessend in einem Handbuch aufgearbeitet. Dieses behandelt alle Aufgaben der Anlagendimensionierung – ausgenommen die energetische Dimensionierung, für die bereits hervorragende Werkzeuge bestehen. Damit sind die Voraussetzungen gegeben, um Fehlerkosten durch Schadenfälle und Betriebsstörungen zu vermeiden und somit die Gestehungskosten zu senken.

Andreas Eckmanns



*An der ETH Zürich wurde ein neues, kostengünstiges Verfahren zur solarthermischen Entgasung von hydraulischen Kreisläufen entwickelt und zum Patent angemeldet. Der Nachweis der Tauglichkeit wurde durch Experimente an einem zu diesem Zweck aufgebauten Versuchsstand erbracht.*

### Labortests zur Berechnung industrieller Methanproduktion

**D**ie Praxis benötigt schnelle und kostengünstige Methoden, die es erlauben, die Energieproduktion von Biogas-

anlagen und die damit verbundene Rentabilität mit akzeptabler Genauigkeit abzuschätzen. Zu diesem Zweck wurde die berechnete Methanproduktion – basierend auf Labortests – mit der reell auf Biogasanlagen gemessenen Menge verglichen. Der Vergleich hat ge-

zeigt, dass die reelle Methanproduktion der berechneten sehr ähnlich ist und ein Extrapolationsfaktor von 0,9 vorgeschlagen werden kann. Die Methanproduktion einer Biogasgrossanlage mittels Labortests der einzelnen Substrate abzuschätzen erscheint daher sinnvoll.

Sandra Hermlé

*Biogasanlage der Biopower Nordwestschweiz AG in Pratteln (BL).*





## 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 2015 wurde eine breite Palette von Forschungsprojekten zu so unterschiedlichen Themen wie dem Verhalten der Energieverbraucher, Effizienzpotenziale, Energiemarktdesign, «Demand Side Management» (Nachfragesteuerung) oder den möglichen volkswirtschaftlichen Auswirkungen von energiepolitischen Instrumenten sowie deren soziale Akzeptanz unterstützt.





## Kommunikations- und Planungsinstrument für Windenergieanlagen

**Um die Akzeptanz von Windenergieprojekten in der lokalen Bevölkerung zu erhöhen, ist es wichtig, diese detailliert über die Auswirkungen auf die Umgebung zu informieren. In einem Pilotprojekt wurden dazu ein Demonstrator entwickelt, um realitätsnahe visuelle und akustische Eindrücke von repräsentativen Schweizer Landschaften mit Windenergieanlagen simulieren zu können.**

Zur Veranschaulichung von Windenergieanlagen werden heute meist statische Visualisierungen von einzelnen Ansichten eines geplanten Windparks und abstrakte Lärmkarten eingesetzt. Mit diesen Instrumenten werden die Veränderungen jedoch nur ungenügend veranschaulicht und sinnlich wahrnehmbar gemacht. Die ETH Zürich und die Empa haben daher ein neuartiges Simulationsinstrument entwickelt, welches Windenergie Landschaften visuell erlebbar und Geräuschmissionen von Windenergieanlagen hörbar macht.

Die «VisAsim» genannte Simulation besteht zum einen aus einer realitätsnahen virtuellen 3D-Landschaft, die auf digitalen raumbezogenen Daten des Bundesamts für Landestopografie swisstopo basiert. Zum anderen wird mit der virtuellen Landschaft eine Hörbarmachung der Windturbinengeräusche verknüpft. Die Geräuschsimulation berücksichtigt neben dem Windturbinentyp auch den Landschaftskontext und die Wettersituation. Das Instrument «VisAsim»

hat grosses Potenzial, bei der Planung von Windenergieanlagen die Meinungsbildung der Bevölkerung bezüglich lokaler Projekte zu unterstützen.

Als Prototypen stehen Simulationen von Windparks in drei typischen Schweizer Landschaften zur Verfügung. Um einem möglichst grossen Publikum simulierte Windparks erlebbar machen zu können, wurde ein Demonstrator in einem mobilen visuell-akustischen Labor entwickelt.

Der «VisAsim»-Demonstrator wurde im Rahmen der Wanderausstellung «Windenergie, natürlich! Sonderschau zum Staunen und Erleben» an der Thurgauer Herbstmesse in Weinfelden (TG), erstmals eingesetzt. Er hat sich als attraktives Informationsmedium für die Bevölkerung erwiesen. Investoren und Planungsbehörden sehen ein grosses Potenzial, mit den Simulationen den Dialog mit der Bevölkerung im Planungsprozess zu unterstützen.

*Ulrike Wissen Hayek, Reto Pieren,  
Adrienne Grêt-Regamey*



*Mitglieder der Regionalkonferenzen besuchen im Rahmen einer Ausbildung das Felslabor Mont-Terri im jurassischen St-Ursanne.*

## Standortsuche für geologische Tiefenlager

**Das vom BFE geleitete Auswahlverfahren für ein Tiefenlager in der Schweiz beinhaltet eine Partizipationsform, deren Breite und Ausgestaltung nicht nur national, sondern auch international einmalig ist: In den sechs Schweizer Regionen, die als Lagerstandorte für radioaktive Abfälle infrage kommen, beteiligen sich insgesamt über 500 Personen. Doch genügt dieser Partizipationsprozess den gestellten Anforderungen? Was sind seine Stärken, was sind seine Schwächen?**

In allen sechs potenziellen Standortregionen wurden Gremien für die Partizipation – so genannte «Regionalkonferenzen» – gegründet, welche aus Vertreterinnen und Vertretern der betroffenen Gemeinden, Organisationen sowie weiteren Einwohnerinnen und Einwohnern bestehen. Sie bringen die regionalen Aspekte ins Auswahlverfahren ein.

Im Jahr 2014 wurde im politikwissenschaftlichen Projekt «Partizipative Entsorgungspolitik» an der Universität Bern eine weitere Begleitforschung zu den Regionalkonferenzen lanciert. Darin wird die tatsächliche und in allen Standortregionen aktuell laufende Umsetzung der regionalen Partizipation analysiert. Die Ergebnisse sollen

es dem BFE ermöglichen, Schwächen und Stärken zu erkennen sowie mit Handlungsempfehlungen die partizipativen Prozesse zu verbessern. Weiter wird auch ein Vergleich zu anderen Grossprojekten gezogen, damit die Erfahrungen und Erkenntnisse weitergreifend nutzbar gemacht werden können.

Um die Forschungsfragen beantworten zu können, wurden in einem ersten Schritt die Kriterien festgelegt, anhand welcher ein Partizipationsverfahren beurteilt werden kann. Neben Merkmalen des Prozesses an sich werden auch die Zusammensetzung und Eigenschaften der Beteiligten, der Zugang zu Informationen oder die Wirkung der Partizipation betrachtet. Die Analyse des laufenden Par-

tizipationsverfahrens in der Standortsuche für Tiefenlager erfolgt anschliessend anhand dieser festgelegten Kriterien, einer Literaturauswertung, mehreren Interviews und schriftlichen Befragungen.

Die Begleitforschung zur Partizipation ist 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*



## Konsumenten im Energiebereich besser verstehen

**Der Grundsatzentscheid von Bundesrat und Parlament für einen schrittweisen Ausstieg aus der Atomenergie bedingt einen sukzessiven Umbau des Schweizer Energiesystems. Die Umsetzung der Energiestrategie geht mit einer Verbesserung der Energieeffizienz und somit mit einer Veränderung im Verhalten der Akteure einher. Verschiedene Studien untersuchen die Frage, wie noch ungenutzte Potenziale zur Reduzierung des individuellen Energieverbrauchs erschlossen werden können.**

Um effektive energiepolitische Instrumente zu entwerfen und einzuführen, ist es wichtig zu verstehen, wie Konsumenten auf eine Preiserhöhung reagieren, und wie Energieeffizienzmassnahmen wirken. So hat die ETH Zürich in einem Projekt einerseits Preiselastizität von Konsumenten in Bezug auf den Strompreis geschätzt und andererseits die Energieeffizienzmassnahmen von Schweizer Stromversorgern evaluiert. Die durchgeführten ökonomischen Schätzungen zeigen, dass eine Preispolitik auf kurze Sicht einen kleinen Effekt auf die Stromnachfrage haben könnte. Auf lange Sicht ist die Preissensibilität hingegen grösser. Dies bedeutet, dass die Haushalte langfristig tatsächlich auf eine Preispolitik reagieren. Analysen offenbaren zudem einen statistisch signifikanten Effekt von aktuellen «Demand Side Management»- (Nachfragesteuerungs)-Aktivitäten in der Schweiz auf den Stromverbrauch von Haushalten. Somit erscheinen «Demand Side Management»-Programme als eine wertvolle Option, um die Ziele der Energiestrategie 2050 zu verfolgen.

Politische Instrumente, die auf eine Verbesserung der Energieeffizienz abzielen, konzentrieren sich oft auf Preiserhöhungen. Diese können ein wertvolles Instrument sein, wie es auch die oben beschriebene Studie der ETH Zürich belegen konnte. Allerdings zeigt die psychologische und verhaltensökonomische Literatur, dass Entscheidungen nicht immer auf rationalen Überlegungen basieren, sondern von verschiedenen sowohl kognitiven als auch affektiven Verzerrungen beeinflusst werden. Der «Mental Accounting»-Effekt (Effekt mentaler Buchführung) ist ein Phänomen, das die Grenzen des rationalen Denkens illustriert. Konsumenten erstellen symbolische Verbindungen zwischen dem Konsum von spezifischen Gütern und spezifischen Ausgaben, die einen erheblichen Einfluss auf ihre Entscheidungen haben können.

Aktuell beschäftigt sich ein gemeinsames Projekt der Universitäten Genf und St. Gallen mit dem Konzept des «Mental Accountings» im Kontext von umwelt- und insbesondere energiebezogenem Verhalten. Die Studie untersucht, inwieweit «Mental Accounting»-Mechanismen für energiebezogene

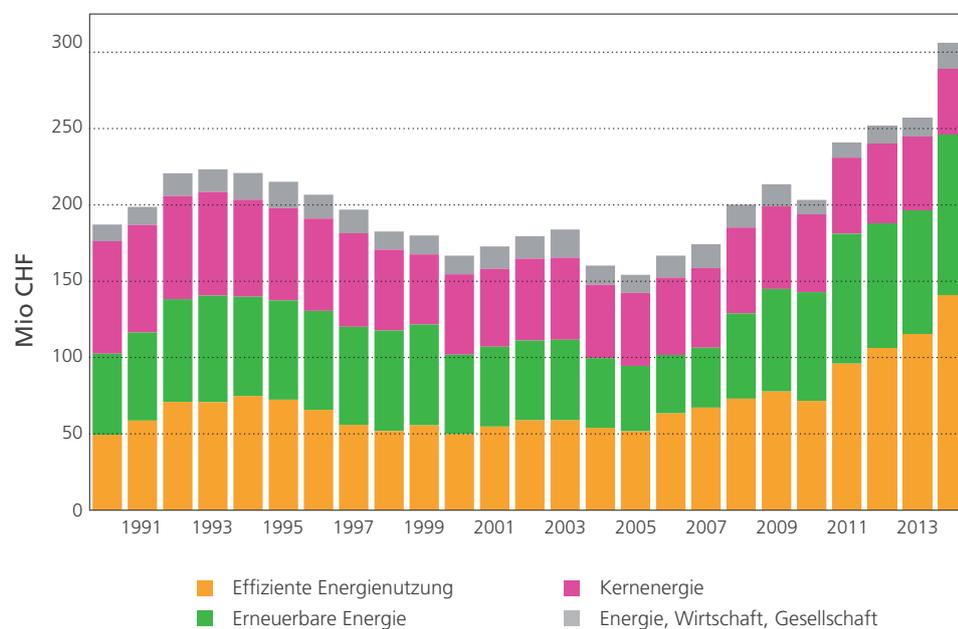
Entscheidungen relevant sind. Es soll insbesondere geprüft werden, ob Personen solche Prinzipien für umweltfreundliches Verhalten auch dann anwenden, wenn dieses in einem nicht-finanziellen Kontext geschieht. Als abschliessendes Ziel soll das Potential von «Mental Accounting»-Mechanismen zur Förderung umweltfreundlichen Verhaltens beziffert werden. Die Studie wird Ende 2017 abgeschlossen. Es wird erwartet, dass sie mit ihrem multidisziplinären Ansatz einen wichtigen Beitrag zum besseren Verständnis des Verhaltens der Konsumenten im Energiebereich leisten wird.

*Anne-Kathrin Faust*

## 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](http://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	EU	Kt./Gmd.	Andere
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 %)
2014	158,0 (51,7 %)	17,8 (5,8 %)	38,4 (12,6 %)	34,2 (11,2 %)	2,3 (0,7 %)	5,3 (1,7 %)	22,0 (7,2 %)	21,3 (7,0 %)	6,4 (2,1 %)

**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).**



	2013	2014
<b>Effiziente Energienutzung</b>	<b>115,7</b>	<b>140,8</b>
Energie in Gebäuden	26,9	29,0
Verkehr	13,9	18,2
Akkumulatoren und Supercaps	3,4	12,4
Elektrizitätstechnologien & -anwendungen	13,1	12,2
Netze & Systeme	9,2	20,7
Wärme-Kraft-Kopplung	0,6	0,9
Brennstoffzellen	15,3	15,5
Verbrennung	18,2	10,8
Kraftwerk 2020 & CO <sub>2</sub> -Rückhaltung und -Sequestrierung	4,3	10,5
Verfahrenstechnische Prozesse	10,7	10,6
<b>Erneuerbare Energien</b>	<b>81,0</b>	<b>105,1</b>
Sonnenenergie	37,6	44,7
Solarwärme und Wärmespeicherung	10,9	6,8
Photovoltaik	21,4	30,2
Solare Hochtemperaturprozesse	7,2	7,7
Wasserstoff	12,2	15,4
Umgebungswärme (inkl. Wärmepumpen, Kälte)	1,7	3,3
Biomasse & Holz (inkl. Abfälle, Klärschlamm)	12,7	16,7
Geothermie	9,6	11,5
Windenergie	6,7	3,6
Wasserkraft	3,3	9,0
Stauanlagen	0,6	0,7
<b>Kernenergie</b>	<b>48,0</b>	<b>43,5</b>
Kernspaltung (Fission)	26,9	21,8
Sicherheit	12,6	7,5
Radioaktive Abfälle	3,4	3,7
Vorausschauende Forschung	10,9	10,6
Kernfusion	23,4	21,7
Plasmaphysik, Heizmethoden	16,3	17,2
Fusionstechnologie	4,8	4,5
<b>Querschnittsthemen</b>	<b>12,3</b>	<b>16,5</b>
Energie, Wirtschaft, Gesellschaft (EWG)	10,2	14,6
Wissens- & Technologie-Transfer (WTT)	1,8	1,3
Allgemeine verwaltungsinterne Forschungskoordination	0,3	0,6
<b>Gesamt</b>	<b>256,9</b>	<b>305,9</b>

*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.*

## BILDNACHWEIS

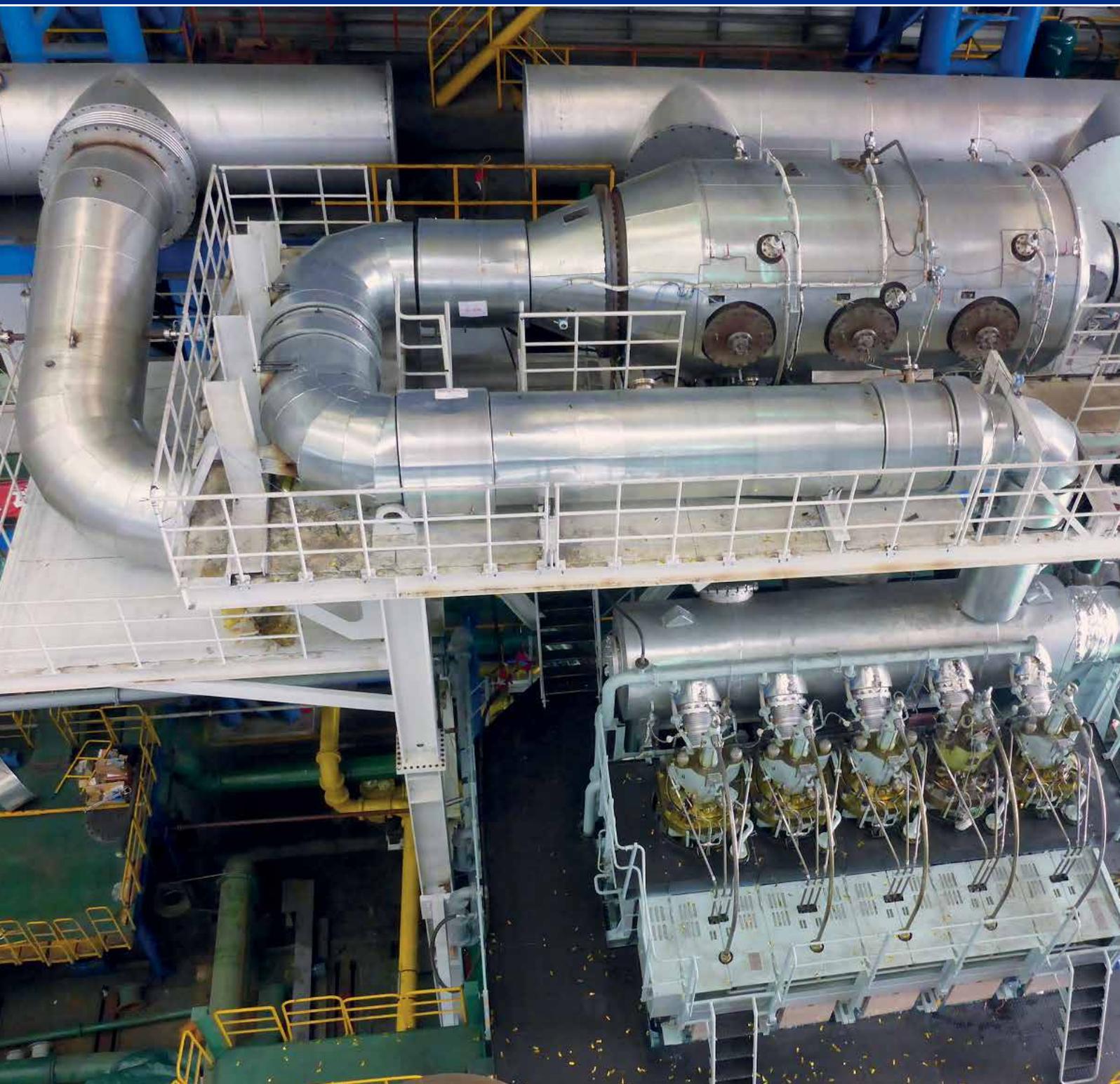
Titelbild	Integrierte Photovoltaikanlage (12,8 kW <sub>p</sub> ) auf dem Dach des Kohlesilos im Basler Gundeldingerquartier. Die monokristallinen Module in verschiedenen Farben wurden von der Firma Swissinso SA in Zusammenarbeit mit der ETH Lausanne entwickelt. Weitere Beteiligte im Projekt: Kantensprung AG, in situ AG, Solvatec AG und BFE (Schweizer Solarpreis 2015, <a href="http://www.solaragentur.ch">www.solaragentur.ch</a> ).
Seite 0	80 Hochleistungs-Vakuumröhrenkollektoren mit einer Gesamtfläche von 400 m <sup>2</sup> bei der Zehnder Group Schweiz AG in Gränichen (AG) zur Bereitstellung solarer Prozesswärme in einer Lackieranlage. (Zehnder Group Schweiz AG/HSR-SPF).
Seite 2	Eiskugel am «Swiss PV Module Test Center» in Lamone (TI) zur Simulation von Hagelschauer mit einer Korngrösse von bis zu 50 mm (Swiss PV Module Test Center/Renato Quadroni).
Seite 5	Bogenstaumauer Lago del Zött (Schweizer Armee, Luftwaffe).
Seite 6,7	Verteilkasten mit einem «GridEye»-Modul zur aktiven Steuerung in einem Verteilnetz (DEPSys SA).
Seite 8	Bundesamt für Energie BFE.
Seite 9	Hochschule Luzern.
Seite 10	Estia SA.
Seite 11	Meyerhans Mühlen AG.
Seite 12	Bundesamt für Energie BFE.
Seite 13	Solvatec AG (oben), Tis Meyer / <a href="http://www.planepics.org">www.planepics.org</a> (unten).
Seite 14,15	EPFL, Institute of Microengineering (IMT), Photovoltaics and Thin-Film Electronics Laboratory ( <a href="http://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.jpcclett.5b02686">http://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.jpcclett.5b02686</a> ).
Seite 16	Bundesamt für Energie BFE.
Seite 17	ZHAW (Frank Brüderli).
Seite 18	Bundesamt für Energie BFE.
Seite 19	NATURA biologie appliquée, Sàrl.
Seite 20	Schweizerische Vogelwarte, Sempach.
Seite 21	ETH Zürich (oben), Verband der Schweizerischen Gasindustrie VSG (unten).
Seite 22,23	VisAsim-Simulation eines Windparks im Gebirge, ETH Zürich.
Seite 24	Bundesamt für Energie BFE.
Seite 27	ETH Zürich, Institut für Verfahrenstechnik.
Seite 29	Winterthur Gas & Diesel (WinGD).

### Impressum:

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

*«Für Winterthur Gas & Diesel (WinGD) leistet das BFE einen erheblichen Beitrag zur Forschung und Entwicklung von innovativen Technologien. Die langjährige und sehr erfolgreiche Zusammenarbeit ermöglicht es WinGD insbesondere im Bereich alternativer Kraftstoffe und umweltschonender Verbrennungskonzepte konstant auf höchstem Niveau zu forschen und damit den Standort Winterthur in einem international herausfordernden Umfeld nachhaltig zu sichern.»*

**Dr. Sebastian Hensel,  
General Manager Engine Performance, Winterthur Gas & Diesel AG**



Bundesamt für Energie (BFE)  
CH-3003 Bern

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