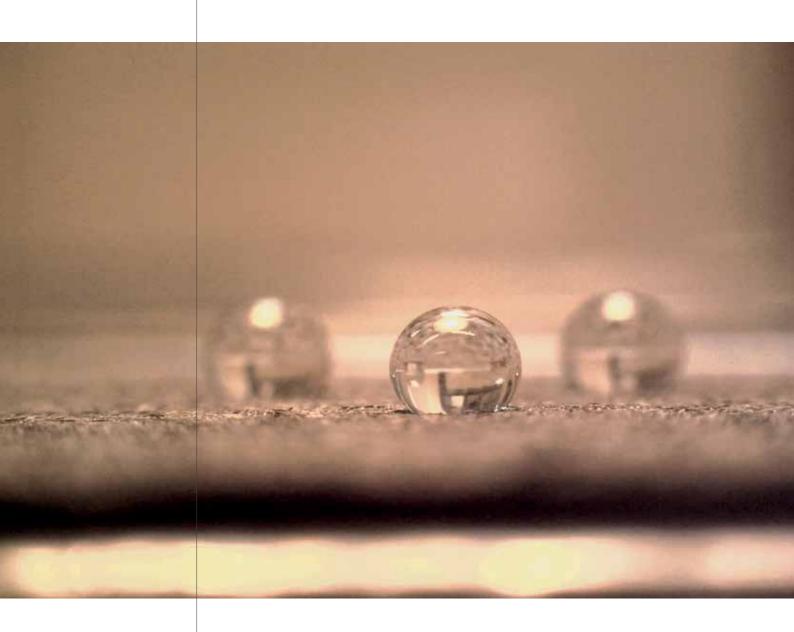


Bundesamt für Energie BFE

Energieforschung und InnovationBericht 2016







Editorial

Die Schweiz verfügt heute über eine sichere und kostengünstige Energieversorgung. Wirtschaftliche und technologische Entwicklungen sowie politische Entscheide im In- und Ausland führen zu grundlegenden Veränderungen der Energiemärkte. Dieser Wandel im Schweizer Energiesystem ist mit grossen Herausforderungen verbunden. Ein Beispiel hierfür ist die verstärkt dezentral aufgebaute Stromversorgung und der damit erhöhte Flexibilitätsbedarf im elektrischen Netz. Gleichzeitig liegen in diesem Wandel enorme Chancen für wirtschaftliche Entwicklung und Innovation. Im Zusammenhang mit der Energiestrategie 2050 ist daher die Forschung im Bereich Energie in den letzten Jahren stark ausgebaut worden. So hat der Bund bedeutende Finanzmittel für den Aufbau von personellen Forschungskapazitäten sowie für die Innovationsförderung markant erhöht.

Seit mehreren Jahrzehnten bildet die Forschungs- und Innovationsförderung durch das Bundesamt für Energie BFE eine der wichtigsten Förderinstitutionen der Schweiz im Energiebereich. Mit seinen Förderprogrammen für anwendungsorientierte Forschung und für Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte begleitet das BFE Innovationen vom Labor bis in den Markt und versucht, verschiedenste Aktivitäten in der Schweiz koordinierend zu vernetzen. Die in dieser Broschüre vorgestellten Beispiele stehen stellvertretend für eine Vielzahl von Projekten, die zu den unterschiedlichsten Themenbereichen der Energieforschung beitragen.

Benoît Revaz Direktor BFE

Titelbild: Wassertropfen auf einer Gasdiffusionsschicht für Brennstoffzellen während einer Kontaktwinkelmessung (Quelle: Paul Scherrer Institut).

Inhalt

Technologie- & Innovationsförderung des Bundesamt für Energie	3
Energieforschung in der Schweiz & internationale Zusammenarbeit	4

Effiziente Energienutzung

Brennstoffzellen mit «Turbos»	7
«Phasor Measurement Units» durchdringen die Verteilnetze	9
Batterieantriebe für Nutzfahrzeuge und Baumaschinen	11
Wasserstoffbeimischung für Erdgasfahrzeuge	13
«Performance Gap» in der Gebäudesanierung	13
«Internet of Things» – Effiziente Vernetzung	13

Erneuerbare Energie

Das Geld liegt in Davos nicht auf der Strasse: Wärme aus dem	
Untergrund für das World Economic Forum	15
Architektonische Integration von Solaranlagen	17
Anpassungsmassnahmen an die klimabedingte Verschärfung	
der Stauraumverlandung	19
Methan aus «komplexer» Biomasse	21
Pilotlinie für Solarfolien	21
Biogasreaktoren mit besseren Wirkungsgraden	21

Sozioökonomische Aspekte von Energietechnologien und -systemen

Individuelles energetisches Verhalten verstehen und beeinflussen2	?3

Zahlen und Fakten	26
Internationale Zusammenarbeit	28

2,3 MW-Windturbine im Windpark «Peuchapatte» im Schweizer Jura. Mit der Jahresproduktion des Windparks können rund 10 % der Haushalte des Kantons Jura versorgt werden (Quelle: www.suisse-eole.ch)



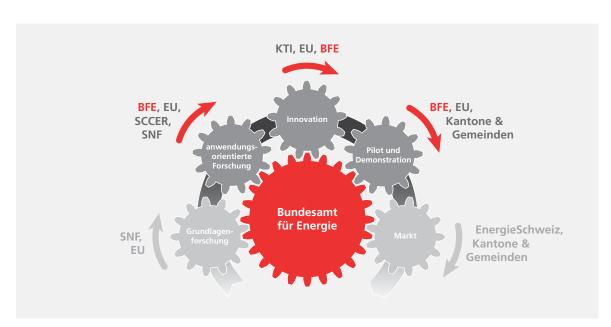
Technologie- & Innovationsförderung des BFE

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 Produkte entstehen. Im Zusammenhang mit der «Energiestrategie 2050» und vor dem Grundsatzentscheid, aus der Kernenergie auszusteigen, trifft dies in besonderem Masse für die Forschung im Energiebereich zu.

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.

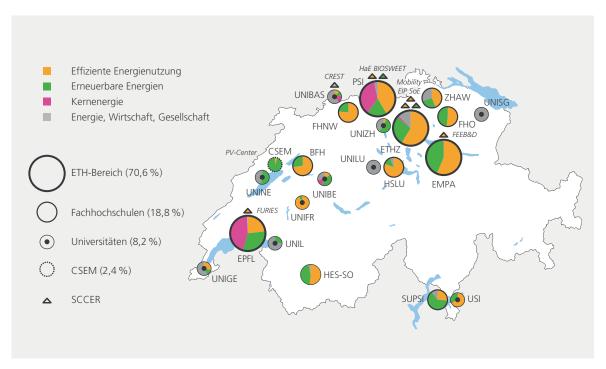
Durch Stellungnahmen fliesst die Expertise des BFE auch in die Beurtei-

lung von Projektanträgen anderer 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).

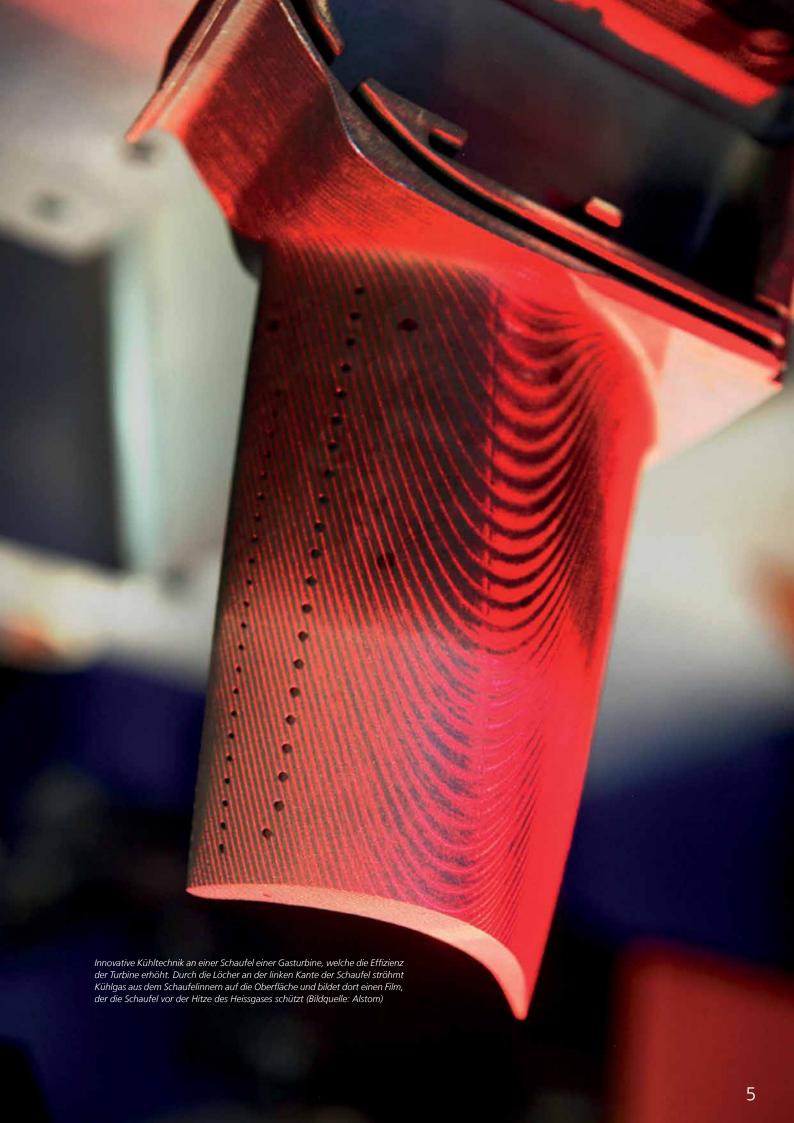
Energieforschung in der Schweiz



Aufwand in den vier Forschungsbereichen «Effiziente Energienutzung», «Erneuerbare Energien», «Kernenergie» und «Energie, WIrtschaft, Gesellschaft» an verschiedenen Schweizer Hochschulinstitutionen (Daten 2015). Im ETH-Bereich (ETH Zürich und Lausanne, Empa, PSI, Eawag und WSL) läuft der grösste Anteil der Schweizer Energieforschungsaktivitäten (70,6 %), gefolgt von den Fachhochschulen (18,8 %) und den kantonalen Universitäten (8,2 %). Der Forschungsanteil an Universitäten und Fachhochschulen ist in den letzten Jahren markant angestiegen (CSEM = Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique, SCCER = Swiss Competence Centre in Energy Research).



Forschungs- und Pilot-, Demonstrations & Leuchtturmprogramme des Bundesamt für Energie BFE.























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 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.





Brennstoffzellen mit «Turbos»

Brennstoffzellen sind eine seit Mitte des 18. Jahrhunderts bekannte Technologie. Trotz ihrer enormen ökologischen Vorteile u. a. gegenüber Heizungen oder Verbrennungsmotoren ist der Durchbruch bisher nicht geschafft. In den letzten Jahrzehnten wurden zahlreiche Forschungsprojekte zur Leistungssteigerung, Lebensdaueroptimierung, sowie zur Kostenreduktion von Brennstoffzellen durchgeführt. Dabei wurde ein technischer Stand erreicht, bei welchem die Zelle selbst nicht das Hauptproblem ist, sondern die Wasserstoffinfrastruktur und die Druckluftversorgung. Letzterem kann mit einem Turbokompressor der Schweizer Firma Celeroton Abhilfe geschaffen werden.

In Brennstoffzellen wird Sauerstoff und Wasserstoff direkt in elektrische und thermische Energie umgewandelt, wobei als «Abgas» reiner Wasserdampf anfällt. Der Wasserstoff wird in Druckgasflaschen zur Verfügung gestellt, der Sauerstoff kann direkt aus der Umgebungsluft bezogen werden. Erhöht man den Druck der Umgebungsluft, kann die Leistungsdichte von Brennstoffzellen erheblich gesteigert werden. Dieses Prinzip der Energiedichtesteigerung wird bei modernen Verbrennungsmotoren mit Turboladern angewendet. Bei Brennstoffzellen – vor allem mit Leistungen im niedrigen zweistelligen Kilowattbereich – ist der Abgasmassenstrom zu gering, um einen klassischen Turbolader anzutreiben. Ein elektrisch angetriebener Kompressor muss diese Aufgabe übernehmen. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass die Leistung, die für den Kompressor benötigt wird, nicht als Antriebsleistung zur Verfügung steht. Die logische Konsequenz ist, dass die Leistungsaufnahme des Kompressors bei maximaler Ausgangsleistung möglichst gering sein muss – sprich ein möglichst hoher Wirkungsgrad des Kompressorsystems erreicht werden sollte.

Turbokompressoren bringen neben hohen Wirkungsgraden weitere Vorteile mit: Im Gegensatz zu Verdrängerkompressoren, in denen ein Kolben eine zyklische Auf- und Abbewegung durchführt, liefern Turbokompressoren kontinuierlich pulsationsfreie Druckluft, was die mechanische Belastung der Membranen, an denen die Energieumwandlung stattfindet, reduziert und damit die Lebensdauer steigert. Durch den ölfreien Betrieb ist zudem sichergestellt, dass die Membranen nicht mit Schadstoffen belastet werden. Zudem arbeiten Turbokompressoren praktisch vibrationsfrei und daher geräuscharm.

 ${\it Impeller\ eines\ Turbokompressors\ (Quelle:\ Celeroton\ AG)}.$



Hoch kompakter elektrisch angetriebener radialer Turbokompressor des Schweizer Unternehmen Celeroton. Diese in ihrer Gewichts- und Leistungsklasse in Bezug auf Ausgangsdruck und Effizienz weltweit einzigartigen Kompressoren eignen sich speziell für den Einsatz im Zusammenhang mit Brennstoffzellen und sind in mobilen Anwendungen erfolgreich getestet worden (Quelle: Celeroton AG)

Das Schweizer Unternehmen Celeroton (www.celeroton.com), ein Spin-Off-Unternehmen der ETH Zürich, hat in den vergangen Jahren mit einem elektrischen Motor mit einer Million U/min Rekorde aufgestellt und gezeigt, was mit sehr hohen Drehzahlen technologisch möglich ist. Ein wichtiger Punkt dabei ist die sensorlose Regelung: durch den Verzicht auf Drehzahlsensoren wird das Design eines Kompressors kompakter und gleichzeitig robuster.

Ein weiteres wichtiges Element dieser Kompressorentwicklung stellt das von Celeroton entwickelte Gaslagerdesign dar. Ein solches ist selbstversorgend, d. h. es wird keine externe Druckluft für die Lagerung benötigt. Der Vorteil gegenüber Kugellagern liegt im kontaktfreien Betrieb. Während Kugellager jenseits einer Million U/min schnell versagen, arbeitet das Gaslager praktisch verschleissfrei. Ein letzter wichtiger Teil der Technologieentwicklung ist der eigentliche Kompressor, der «Turbo». Hierunter wird der Teil des Kompressors verstanden, der für den Druckaufbau zuständig ist. Diese Technologie ist grundsätzlich nicht neu und

unter anderem von Turboladern, Flugzeugtriebwerken oder Hochleistungsverdichtern in Industrieanlagen bekannt. Erst durch die sehr hohen Drehzahlen wird eine Miniaturisierung dieser Komponente und damit des gesamten Kompressorsystems möglich.

Das Zusammenspiel dieser drei Aspekte und das übergeordnete Systemverständnis ermöglichen miniaturisierte Turbokompressoren mit höchstem Systemwirkungsgrad und für Brennstoffzellenanwendungen ausreichend hohen Lebensdauererwartungen. Was zunächst nach einer geradlinigen Produktentwicklung klingt, ist in Wirklichkeit nur durch interdisziplinäres Know-how in den Bereichen Aerodynamik, Gasund Magnetlagerung, Mechanik, Elektromagnetik, Elektronik, Regelungstechnik und Software möglich.

Die neu lancierten Turbokompressoren mit Gaslagerung sind im Markt bereits auf breite Resonanz gestossen. Für die nächsten Jahre ist die Entwickung weiterer Turbokompressoren mit höheren Leistungen geplant. So hat im Januar 2017 im Rah-

men eines europäischen Projektes die Entwicklung eines 10-kW-Brennstoffzellenkompressors und der dazu notwendigen Elektronik gestartet.

Gaslagerung und Aerodynamik können neben Luft auch für andere gasförmige Medien adaptiert werden, so zum Beispiel für Kältemittel in Wärmepumpen, dabei wird das Kältemittel sowohl für die Kühlung des Kompressors, als auch für die Gaslagerung eingesetzt. Dies ermöglicht ein sehr kompaktes Design, das die bekannten Vorteile von Ölfreiheit und hohem Wirkungsgrad gleichermassen vereint. Speziell Öl kann zum Aufschäumen von Kältemitteln führen, was den Wärmeübergang und damit den Systemwirkungsgrad negativ beeinflusst.

In Hybrid- und Elektrofahrzeugen hat der Energiebedarf des Heiz-Klimasystems einen grossen Einfluss auf die Reichweite. Hochdrehende Turbokompressoren erlauben hier kleinere und effizientere Wärmepumpen, die für Heizung und Klimatisierung eingesetzt werden können. Patrik Fröhlich (Celeroton AG)



125 kV-Umrichter- und Transformatorstation in Sébeillon der Services industriels de Lausanne (Quelle: Services industriels de Lausanne)

«Phasor Measurement Units» in Verteilnetzen

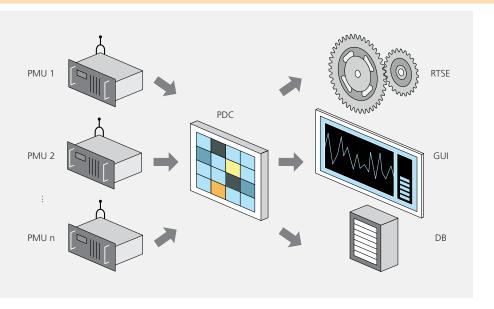
Fluktuierende und dezentrale Einspeisung von erneuerbarer Energie stellt erhöhte Ansprüche an den Betrieb der Elektrizitätsnetze. Um sie jederzeit stabil und innerhalb ihrer Betriebsgrenzen halten zu können, müssen diese überwacht werden. Zu diesem Zweck werden künftig auch in Verteilnetzen so genannte «Phasor Measurements Units» eingesetzt werden.

Das Elektrizitätssystem der Zukunft ist geprägt durch eine Vielzahl von dezentralen Erzeugern, die Strom aus erneuerbaren Energieguellen wie Sonne, Wind und Biomasse direkt in die Verteilnetze einspeisen. In der Regel weisen diese Einspeisungen eine stark fluktuierende, primär durch das lokale Wetter bestimmte Charakteristik auf. Gleichzeitig müssen aber Ein- und Ausspeisung jederzeit im Gleichgewicht gehalten werden. Erfolgte der Energiefluss in der Vergangenheit fast auschliesslich von den höheren zu den tieferen Netzebenen, ist dies zunehmend nicht mehr der Fall. Dennoch müssen die Spannungen jederzeit und überall innerhalb des Toleranzbandes liegen und die thermischen Grenzen der Leitungen müssen beachtet werden.

Zur rechtzeitigen Erkennung, Analyse und Behebung von Spannungsund Frequenzabweichungen sowie von Schwingungsphänomenen werden in Übertragungsnetzen seit einigen Jahren «Wide Area Monitoring & Control» (WAMC)-Systeme eingesetzt. Dabei misst eine so genanntes «Phasor Measurement Unit» (PMU) in der Regel 50 Mal pro Sekunde synchronisiert die Amplituden von Spannung und Strom. Zentral dabei ist, dass verschiedene PMUs die Phasenlage bezogen auf eine gemeinsame Referenz, die koordinierte

Weltzeit (UTC), analysieren. Die zeitgestempelten Daten werden über einen «Phasor Data Concentrator» an einen sehr schnellen, zentralen Rechner übermittelt, der den Netzzustand in Quasi-Echtzeit (RTSE) bestimmt.

Das gleiche Verfahren kann prinzipiell auch in Verteilnetzen eingesetzt werden. Ein wesentliches Problem besteht aber in der Messgenauigkeit der heute kommerziell verfügbaren PMUs: aufgrund der kürzeren Leitungslängen können die kleineren Phasenwinkel nicht mehr ausreichend genau gemessen werden. Das Labor für dezentrale elektrische Systeme (DESL) der Eidge-



Die einzelnen «Phasor measurement units» (PMU) im elektrischen Verteilnezt übermitteln ihre Information an eine zentrale Stelle («Phasor Data Concentrator» PDC), welcher den Netzzustand in Quasiechtzeit (RTSE) bestimmt, die aktuelle Systemsituation darstellt («Graphical User Interface») und den Systemstatus in einer Datenbank (DB) sichert.

nössichen Technischen Hochschule (ETH) Lausanne hat hierzu den ersten Prototypen einer PMU entwickelt, der den neuen IEEE-Standard «C37.118-2011» erfüllt und damit auch für den Einsatz in Verteilnetzen geeignet ist. Im Rahmen eines Forschungsprojekts wurde das Mittelspannungsnetz auf dem Campus der ETH Lausanne mit fünf der neuen PMUs ausgerüstet. Es konnte erfolgreich demonstriert werden, dass der Netzzustand damit zuverlässig und in Quasi-Echtzeit bestimmt werden kann.

Mit Hilfe von PMUs lässt sich aber nicht nur der Netzzustand überwachen. Die Daten erlauben beispielweise auch die Bestimmung der Wirkleistungsverluste, der Blindleistungsflüsse oder der Leitungsparameter. Ausserdem lassen sich fehlende Messwerte schätzen und Fehlerstellen bestimmen. Um diese Anwendungen unter realen Bedingungen weiter entwickeln und verifizieren zu können, wurden im Rahmen eines BFE-Pilotprojekts die Leitungen des 125-kV-Hochspannungsnetzes der Service Industriels de Lausanne (SIL) mit insgesamt 15 PMUs ausgerüstet. Der dazuge-

hörige «Phasor Data Concentrator» (PDC) befindet sich im Kontrollzentrum Pierre de Plan und wird über das interne Glasfasernetzwerk mit den Messdaten versorgt. Auswertungen haben gezeigt, dass die Latenzzeit weniger als drei Millisekunden beträgt und die Daten zuverlässig, das heisst ohne Verluste, übertragen werden können. Aufgrund der positiven Ergebnisse ist nun geplant, die Netzzustandsbestimmung in die nächste Generation von Leitsystemen zu integrieren und zusätzlich Teile des Mittelspannungsnetzes mit PMUs auszurüsten, um dessen Betrieb optimieren zu können. Es ist sogar denkbar, dass PMUs in einigen Jahren konventionelle Schutzgeräte ablösen könnten.

Damit dies aber möglich wird, müssen die PMUs absolut zuverlässig funktionieren und ausreichend genaue Daten liefern. Oberschwingungen und Zwischenharmonische, die beispielsweise durch Unterhaltungselektronik oder Photovoltaikwechselrichter verursacht werden, können die Funktion von PMUs beeinträchtigen. Das Eidgenössische Institut für Metrologie (METAS) hat deshalb im Rahmen eines europäischen Projekts

einen Messplatz zur Prüfung und Kalibrierung von PMUs nach dem neuen IEEE-Standard entwickelt und aufgebaut.

Aufgrund der grossen Anzahl benötigter PMUs in einem Mittelspannungsnetz stellen die Kosten der GPS-Empfänger und der Telekommunikation eine grosse Umsetzungshürde dar. Das «Competence Center Innovation in Intelligent Multimedia Sensor Networks» der Hochschule Luzern ist spezialisiert auf hoch zuverlässige Echtzeitkommunikation über stromführende Leitungen, sogenannte «Power Line Communication» (PLC). Im Rahmen mehrerer Forschungsprojekte der Kommission für Technologie und Innovation (KTI) und des BFE werden derzeit Möglichkeiten erforscht, wie PMUs über PLC hoch präzis synchronisiert werden können und ob sich die Technologie allenfalls auch für die gesamte Datenübertragung zum zentralen «Phasor Data Concentrator» eignet. Gelingt ein solcher Einsatz von PLC, könnte damit ein weiterer wichtiger Kostenfaktor eliminiert werden.

Michael Moser



Neu entwickelter 26 t-Elektrolastwagen vor der Montage des Kehrrichtaufbaus. Zwischen den Radachsen befindet sich der grosse Batteriespeicher (Quelle: Designwerk).

Batterieantriebe für Nutzfahrzeuge und Baumaschinen

Lastwagen und Baumaschinen werden heutzutage fast ausschliesslich mit leistungsstarken Dieselmotoren angetrieben, zu deren Nachteilen bekanntlich die Lärm- und Abgasemissionen zählen. Diese Verbrennungsmotoren arbeiten zudem sehr ineffizient, denn sie werden im praktischen Einsatz meistens im Teillastbereich betrieben. Eine Elektrifizierung von solchen Fahrzeugen bietet in vielfacher Hinsicht Vorteile. Die technische Umsetzung stellt Entwickler aber auch vor grosse Herausforderungen.

Heutzutage sind Emissionen wie Lärm oder Abgase auf Baustellen und im Strassenverkehr immer noch allgegenwärtig. Neben den schädlichen Effekten der Abgase führt auch der Lärm immer mehr zu Problemen. So sind beispielsweise in vielen Grossstädten aufgrund der hohen Verkehrslast die Kehrrichtabfuhr und die Strassenreinigung nur während der Nacht möglich. Dadurch verschärft sich die Lärmproblematik, was zu Einschränkungen des Betriebs von Baumaschinen und Nutzfahrzeugen im öffentlichen Dienst

führt. Elektrische Fahrzeuge hingegen erlauben einen leisen, praktisch emissionsfreien Betrieb und bringen aufgrund des effizienten Antriebs und der Möglichkeit zur Rekuperation der Bremsenergie erst noch substantielle Energieeinsparungen. Seit einigen Jahren wird deshalb vermehrt an der Elektrifizierung von schweren Nutzfahrzeugen und Maschinen geforscht.

Der Fokus bei solchen Vorhaben liegt dabei vornehmlich in der Entwicklung von neuen Batterien und der Auslegung von Steuersystemen, um den technischen Anforderungen von Nutzfahrzeugen gerecht zu werden. So müssen die Batterien sowohl leistungsfähig sein, als auch eine hohe Speicherkapazität aufweisen. Gleichzeitig sollen sie aber immer leichter, günstiger und langlebiger werden, so dass elektrische Fahrzeuge und Maschinen künftig eine wirtschaftliche Alternative zu solchen mit thermischen Antrieben werden. Die Lebensdauer ist denn auch weiterhin eine der grössten Unbekannten dieser neuen Technologie und



Prototyp eines Elektrobaggers im Einsatz auf einer Baustelle. Im zwei Tonnen schweren Heckaufbau befindet sich die Batterie, welche so ein Teil des Gegengewichts ersetzt. (Ouelle: SUNCAR HK AG)

wird im Rahmen von Pilot- und Demonstrationsprojekten intensiv untersucht.

So sind beispielsweise seit 2016 Prototypen elektrischer Bagger auf Schweizer Baustellen im Piloteinsatz. Die ersten Praxiserfahrungen zeigen, dass der 16 t-Bagger mit einer Batteriekapazität von 170 kWh fast sechs Stunden im Einsatz sein kann. Diese Laufzeit gilt es nun mittels technischen Optimierungen weiter zu steigern. Im Vergleich zu einem Dieselbagger wird dabei fast 60 % weniger Energie benötigt und die Lärmbelastung um bis zu 10 Dezibel reduziert. Die Mitarbeiter auf den Baustellen werden gleichzeitig auch vor schädlichen Abgasen geschützt. Wird für den Betrieb des Baggers Strom aus erneuerbaren Quellen verwendet, können über dessen Lebensdauer zudem mehrere hundert Tonnen CO2 eingespart werden.

Solche Vorteile, sowie eine verbesserte Wirtschaftlichkeit aufgrund der tiefen Wartungs- und Betriebskosten, erhofft man sich auch aus der Erprobung eines elektrischen Kehrrichtfahrzeuges. Mit diesem soll, nachdem bereits gute Erfahrungen mit einem 18 t-Elektro-LKW aus Schweizer Entwicklung gemacht wurden, die Elektrifizierung von schwereren Fahrzeugen eingeleitet werden. Der Einsatz als Kehrrichtfahrzeug mit dessen ausgeprägter «Stop-and-Go»-Charakteristik und dem hohen Anteil an Teillastbetrieb bietet ideale Möglichkeiten für die Erprobung eines 26 t-LKW mit einer Reichweite von bis zu 300 Kilometern. Dadurch erhofft man sich Energieeinsparungen von bis zu 70 % im Vergleich zu einem konventionellen Fahrzeug, das je nach Betrieb bis zu 100 Liter Diesel auf 100 Kilometer verbraucht. Neben den technischen Aspekten wird auch die Akzeptanz

solcher Fahrzeuge bei Gemeinden, Fahrern und Anwohnern untersucht.

270 kWh Speicherkapazität zählt die für das Kehrrichtfahrzeug neuentwickelte Batterie zu den momentan grössten der Schweiz. Und bereits laufen bei einem weiteren Industriekonsortium die Entwicklungen für ein noch grösseres Batteriesystem mit einer Kapazität von 600 kWh, das für den Betrieb eines elektrifizierten Muldenkippers mit einem Gesamtgewicht von über 50 Tonnen ausgelegt wird. Die Erkenntnisse, die aus diesen Pilot- und Demonstrationsprojekten gewonnen werden, lassen sich zukünftig auf unzählige weitere Anwendungen im Fahrzeug- und Maschinenbereich übertragen und leisten so einen wichtigen Beitrag zur Elektrifizierung der Mobilität und der Industrie

Men Wirz



















kurz berichtet ...



Rollenprüfstand an der Empa mit einem Erdgasfahrzeug, welches mit Wasserstoff angereichtertem Erdgas vermessen wurde.

Wasserstoffbeimischung für Erdgasfahrzeuge

Aktuelle Forschungsarbeiten der Empa untersuchen das vielversprechende Potenzial der Beimischung von Wasserstoff zu Erdgas (CNG = compressed natural gas) als Treibstoff für Fahrzeuge. Auf dem Rollenprüfstand wurden verschiedene Fahrzyklen gefahren, die auch Beschleunigungsphasen und Hochgeschwindigkeitsbetrieb enthalten. Dabei konnte im Vergleich zum reinen CNG-Betrieb eine Verbrauchseinsparung von 2 % nachgewiesen werden. Die Emissionen an Kohlenwasserstoffen können um 30-60 % gesenkt werden. Speziell können die bei Lastwechsel auftretenden Stickoxidemissionsspitzen im Katalysator nahezu vollständig abgebaut werden.

Stephan Renz

«Performance Gap» in der Gebäudesanierung

Sanierungsprojekte an Gebäuden werden von Planern unter anderem mit Energieeinsparungen begründet. In der Praxis wird leider festgestellt, dass die versprochenen Einsparungen nur teilweise erreicht werden können. In einem aktuellen Forschungsprojekt der Universität Genf wurde in den letzten Jahren systematisch der Wärmeenergieverbrauch vor und nach grossen Gebäudesanierungen untersucht. Das Projekt hat sich dabei auf zehn grosse Mehrfamilienhäuser der Region Genf konzentriert und festgestellt, dass die in Aussicht gestellten Einsparungen nur zu 30-70 % effektiv erreicht wurden. Die Gründe für diese Abweichungen («Performance Gap») sind vielfältig und werden detailliert analysiert.

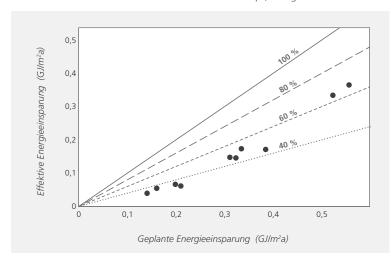
Rolf Moser

«Internet of Things» – Effiziente Vernetzung

Internet-basierte Steuerungs- und Kontrollsysteme erobern den Alltag. Die als «Internet of Things» (IoT) benannten Technologien sorgen für Komfort und tragen oft auch zum haushälterischen Umgang mit Energie bei. Dem gegenüber steht der Energiebedarf der IoT-Geräte selbst. Gemäss Prognosen der Hochschule Luzern fällt bis 2025 weltweit ein jährlicher Energiebedarf von 46 TWh alleine für den Standby-Betrieb solcher Geräte an. «Home Automation» trägt hier am stärksten bei, wobei der Energiebedarf insbesondere durch die eingesetzte Kommunikationstechnologie und deren Betriebsweise bestimmt wird. Durch die richtige Wahl für einen bestimmten Anwendungszweck lässt sich bedeutend Energie einsparen.

Roland Brüniger

Effektive Heizenergieeinsparungen bei zehn grossen Mehrfamilienhäusern in Genf, verglichen mit der theoretischen Vorhersage. Die Abweichung vom Zielwert («Performance Gap») beträgt 30–70 %.





















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 globalen Primärenergiebedarf hinge-

gen 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.





Das Geld liegt in Davos nicht auf der Strasse: Wärme aus dem Untergrund für das WEF

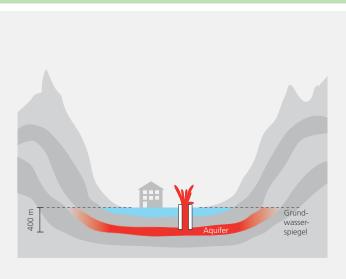
Davos, bestens bekannt für seine Ski-Gebiete und dem jährlich stattfindenden World Economic Forum (WEF), ist weniger bekannt als
Pionierin im Bereich der Geothermie. Tatsächlich läuft seit 2012 das
Projekt «GNAMA» (Grundlagen der geothermalen Nutzung alpiner
mitteltiefer Aquifere*). Hier soll aufgezeigt werden, dass selbst in
alpinen Hochtälern geothermische Ressourcen in ein Energiesystem
integriert werden können. Konkret wird hier das Kongresshaus und
die darin enthaltene Bade- und Wellnessanstalt einerseits mit Abwärme von der Kunsteisbahn, andererseits mit Wärme aus einem
geothermischen Aquifer versorgt.

Als «Energiestadt»** ist die Gemeinde Davos bestrebt, neue Lösungen zu finden, um weniger Gas und Öl für das Heizen ihrer Gebäude zu verbrauchen. Diverse Studien belegen, dass diese alpine Stadt über einen energetisch betrachtet wertvollen Untergrund verfügt. Daher lag es nahe, diese Ressourcen auch zu nutzen und es wurde eine Planung in Gang gesetzt, um das Kongresshaus und das Hallenbad mit einem Mix aus Abwärme, die bei der Vereisung der Kunsteisbahn entsteht, und Wärme aus einem geothermischen Aquifer zu versorgen. Das entsprechende Geothermieprojekt «GNA-MA» (Grundlagen der geothermalen Nutzung alpiner mitteltiefer Aquifere) startete bereits im Jahr 2012. Es ging darum, die in rund 400 m unter der Oberfläche liegende wasserführende Gesteinsschicht im Aroser Dolomit energetisch zu nutzen. Das Wasser in dieser Schicht ist «artesisch gespannt», so dass es spontan an die Oberfläche dringt, sobald das Gestein angebohrt wird.

Da eine Explorationsbohrung aufzeigte, dass die Temperatur des Wassers im Aquifer nur etwa 11–12 °C

- * Aquifer = wasserführende Schicht im Untergrund
- ** Das Label «Energiestadt» ist ein Leistungsausweis für Gemeinden, die eine nachhaltige kommunale Energiepolitik vorleben und umsetzen (www.energiestadt.ch).

Kongresshaus in Davos (Quelle: World Economic Forum/Photo Andy Mettler).





Ein oberflächennaher Aquifer kann in der Stadt Davos als geothermische Wärmequelle genutzt werden (links). Blick auf den Kopf des 400 m tiefen Bohrlochs in Davos (rechts) (Quelle: Gemeinde Davos).

beträgt, musste dieses über die Wärmepumpe der bereits bestehenden Abwärmenutzung der Kunsteisbahn geleitet werden, um dem Kongresshaus und dem Hallenbad Wärme mit der gewünschten Temperatur liefern zu können. Zurzeit wird die Energie aus dem geothermischen Aquifer nur dann genutzt, wenn die Kälteverdichter der Kunsteibahn keine Abwärme produzieren, d. h. nicht in Betrieb sind.

Bis September 2016 wurde mit dem natürlichen Durchfluss des Aquifers von 1240 l/min gearbeitet. Dieser Fluss war vom Druck her zu schwach, um das Wasser durch eine 260 m lange Leitung und noch einen Grundwasserwärmetauscher zu fördern. Deshalb wurde im Herbst 2016 in der Erkundungsbohrung eine Grundwasserpumpe eingebaut. Diese ist, mit kurzen Unterbrüchen, seitdem in Betrieb und liefert sowohl

Wärme, als auch interessante Daten im Rahmen des Projekts «GNAMA».

Der Einbau der Pumpe war sowohl technisch, wie auch wissenschaftlich anspruchsvoll. So musste abgeklärt werden, wie tief im Untergrund die Pumpe eingesetzt werden sollte. Diese muss einerseits ständig in der wasserführenden Schicht liegen, andererseits ist es vorteilhaft, wenn die Pumpe nicht zu tief unter der Oberfläche eingesetzt wird. Weiter war nicht klar, wie gross die optimale Fördermenge sein sollte, um brauchbare Daten für das Untersuchungsprogramm «GNAMA» zu erhalten, welche später eine Beurteilung des Aquifers für eine intensivere Nutzung erlauben sollte. Schliesslich war offen, ob ein Risiko für einen sogenannten Kurzschluss oder Mischen zwischen benachbarten Aquiferen besteht.

Erste Antworten auf diese Fragen konnten dank zahlreichen Messungen der Stadt Davos, zusammen mit der Firma Geotest, sowie auf Grund von Modellierungsarbeiten der Universität Basel abgeschätzt werden. So wurde eine ideale Fördermenge von 2000 l/min identifiziert.

Zur Zeit kann dank dieser Optimierungsmassnahmen mit einer künstlichen Erhöhung der natürlichen Durchflussmenge rund 24 % der gesamten Wärme des Kongresshauses und des Hallenbads durch Abwärme und Geothermie bereitgestellt werden. Weitere Studien sollen aufzeigen, ob diese Fördermenge weiter erhöht werden kann oder nicht und welchen Einfluss dies auf den Aquifer und den Untergrund haben könnte.

Céline Weber, Gunter Siddiqi und Gian-Paul Calonder (Gemeinde Davos)



Integrierte Solaranlage im energieautarken Haus in Brütten (Quelle: Schweizer Solarpreis 2016, www.solaragentur.ch).

Architektonische Integration von Solaranlagen

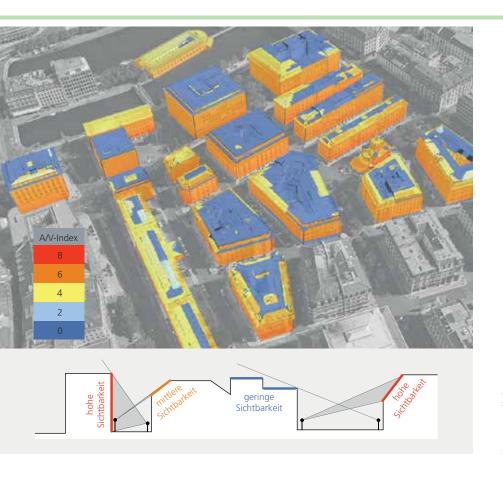
Wenn es um die Ästhetik geht, scheiden sich am Thema Solaranlagen die Geister. Ein Tool zur objektiven Beurteilung findet internationale Beachtung. Solaranlagen auf Gebäuden kommen in der Schweiz – im Vergleich zu anderen Ländern – eine besonders hohe Bedeutung zu. Solche Anlagen stehen jedoch oft im Spannungsfeld zwischen den Anliegen zum Erhalt der Baukultur (Denkmalschutz) und der verstärkten Nutzung erneuerbarer Energie.

Das revidierte Schweizer Raumplanungsgesetz enthält die Grundlagen dafür, dass «genügend angepasste» Solaranlagen auf Dächern ohne Baubewilligung erstellt werde dürfen. Die Anlagen sollten «sorgfältig integriert» sein und es dürfen «keine Kultur- und Naturdenkmäler be-

einträchtigt werden». Bei der Frage, wie solche Vorgaben umgesetzt werden sollen, besteht nach wie vor eine gewisse Unsicherheit.

Architektonische Qualität lässt sich allgemein über Nützlichkeit, Stabilität und Schönheit beschreiben.

Nützlichkeit beschränkt sich bei in Gebäuden integrierten Solaranlagen nicht mehr nur auf die Funktion des Schutzes vor der Umwelt, sondern umfasst auch die Energieproduktion. Im Gegensatz zu konstruktiven Anforderungen ist die Frage der Schönheit für viele Techniker – aber auch



Darstellung der Bewertung von Gebäudeoberflächen zur solaren Nutzung mit dem «QSV-Crossmapping»-Tool der Eidgenössischen Technischen Hochschule Lausanne. AIV Index (Ambient/Visibility index) von 0 = niedrige Sichtbarkeit in unsensiblem Umfeld (z. B. Industriequartier) bis 8 = hohe Sichtbarkeit in sensiblem Umfeld (z. B. historischer Stadtkern) (Quelle: EPFL).

Behörden – nicht so leicht zu fassen. An der Eidgenössischen Technischen Hochschule Lausanne (EPFL) wurde dazu ein Katalog mit objektiv beurteilbaren Kriterien für Solaranlagen und ihre Integration in die Architektur entwickelt. Mit der sogenannten «QSV-Methode» (QSV = Qualität, Standort, Visibilität) lässt sich in einem dreistufigen Prozess systematisch überprüfen, ob eine photovoltaische oder thermische Solaranlage sorgfältig in die Architektur integriert ist.

Darauf basierend wurde von der EPFL ein Sofwaretool entwickelt, womit Behörden, Bauherren und Architekten die Methode leicht anwenden können. Dieses besteht aus drei Teilen: «QSV-Acceptability» hilft Gemeinden, Anforderungen in einem soziopolitischen Kontext zu definieren und zu bewerten. «QSV-Grid» visualisiert die Auswirkungen unterschiedlicher Entscheide auf das Siedlungsumfeld. Mit dem Teil «QSV-Crossmapping» kann schliesslich die architektonische Sensibilität von Siedlungsflächen für eine proaktive Solarplanung kartiert und mit Sonneneinstrahlungskarten abgeglichen werden.

Dieselbe Thematik greift das im Rahmen der Zusammenarbeit in der Internationalen Energie Agentur laufende Projekt «Solar Energy in Urban Planning» (IEA-SHC, Task 51) auf. Das Projekt soll Städteplaner, Behörden und Architekten bei der architektonischen Integration von Solar-

energieanlagen in die bebaute Umwelt unterstützen und damit Städten einen hohen Anteil an erneuerbarer Energieversorgung ermöglichen. Die «QSV-Methode» wurde als Schweizer Beitrag in dieses internationale Vorhaben eingebracht und diente allen teilnehmenden Ländern als gemeinsames Hilfsmittel. Darüber hinaus fand es auch Eingang in die Ausbildung an verschiedenen Universitäten sowie in die berufliche Weiterbildung. Im November 2016 wurden die beteiligten Schweizer Forscher für ihre Arbeiten mit dem Innovationspreis Schwedens «Innovator of the Year Award» ausgezeichnet.

Andreas Eckmanns



Stark schwebstofffhaltiger Zufluss beim Wasserkraftwerk im Fieschertal (Quelle: ETHZ).

Anpassungsmassnahmen an die klimabedingte Verschärfung der Stauraumverlandung

Infolge des Rückzugs der Gletscher und des Anstiegs der Permafrostgrenze in alpinen Einzugsgebieten steigt der Eintrag von leicht erodierbaren Sedimenten in die Gewässer, Wasserfassungen und Speicher an. Dies führt einerseits zu einer Reduktion des für die flexible Bewirtschaftung wichtigen Speichervolumens, andererseits gelangen mehr Schwebstoffe in das Triebwasser. Dadurch werden Bauwerke und Maschinenkomponenten verstärktem Verschleiss ausgesetzt. Die Alpen sind geologisch relativ stabil und die Verlandungsraten nehmen hier zwar tendenziell zu, bewegen sich aber im weltweiten Vergleich immer noch auf einem niedrigen Niveau. Global geht jährlich mehr Speicherraum durch Verlandung verloren als neu zugebaut wird, obwohl der Neubau von Wasserkraftanlagen weltweit intensiv fortschreitet.

In einem Forschungsprojekt untersuchen die ETH Zürich und die Hochschule Luzern gemeinsam mit Betreibern von Wasserkraftanlagen die Entstehung und Möglichkeiten zur Vermeidung von Speicherverlandung, sowie die Eingrenzung deren negativen Auswirkungen.

Um die Speicherverlandung zu Verlangsamen oder bereits verlandete Speicher wieder zu entlanden, gibt es verschiedene Möglichkeiten. Geschiebeumleitungsstollen, wie beispielsweise der 2012 in Betrieb genommene am Speicher Solis in Graubünden, werden im Fall von starkem Geschiebetrieb bei Hochwasser ge-

öffnet. Sie leiten das geschiebeführende Hochwasser am Speicher vorbei und geben Wasser, Geschiebe und Schwebstoffe direkt in das Gewässerbett unterhalb der Talsperre ab. Dadurch tragen Geschiebeumleitstollen auch zu der Geschiebedurchgängigkeit bei, deren Wiederherstellung das revidierte Gewässer-



Geophonplattenreihe am Auslauft des Umleitungsstollens Solis: Metallplatten, die mit akkustischen Sensoren ausgestattet sind, welche Erschütterungen durch aufprallende Partikel erfassen, dienen dazu, den Feststofftransport zu quantifizieren (Quelle: FTHZ)

schutzgesetz mittelfristig vorschreibt. In mehreren laufenden Forschungsprojekten wird das Betriebsverhalten und die Wirksamkeit solcher Stollen am Beispiel Solis derzeit untersucht. Die tatsächlich transportierten Mengen an Feststoffen werden mit Geophonen gemessen und mit Metallplatten in der Stollensohle, die mit Sensoren ausgestattet sind, welche Erschütterungen durch aufprallende Partikel messen. Um den Zusammenhang zwischen den Signalen und dem Feststofftransport zu quantifizieren, sind vergleichende Laborund Natureichungen notwendig. In einem weiteren Projekt wird mit Hilfe von Laserscannern vom Flugzeug aus untersucht, wie sich die Gewässerbettmorphologie unterhalb der Talsperre infolge der durchgeleiteten Geschiebemassen verändert und sich wieder einem natürlicheren Zustand annähert.

Da es weltweit bisher nur sehr wenige Geschiebeumleitungsstollen gibt, werden in vielen Fällen stattdessen Speicherspülungen durchgeführt und zukünftig werden auch Ausbaggerungen verstärkt ins Auge gefasst werden müssen. Da der grösste Teil der Ablagerungen aus sehr feinen Partikeln besteht, wird auch die Möglichkeit betrachtet, diese suspendierten Stoffe mit dem Triebwasser über die Turbinen abzuleiten bevor sie sich absetzen. Bei Hochdruckanlagen ohne Speicher wird ein Teil der Schwebstoffe über einen Sandfang oder einen sogenannten «Coanda»-Rechen abgetrennt. Verbleibende Partikel werden auch hier über die Turbinen abgeleitet. Dort können sie jedoch beträchtliche Abrasionsschäden verursachen. Diese Schäden, insbesondere an den Bechern von Pelton-Laufrädern, haben die Abnahme der Turbinenwirkungsgrade zur Folge und erfordern regelmässige, sehr kostenintensive Reparaturmassnahmen, während die Kraftwerke teilweise still stehen. Dazu laufen seit Jahren verschiedene Untersuchungen, die den Zusammenhang zwischen Partikelkon-

zentration, Partikelgrösse und dem Fortschreiten der Abrasionsschäden erforschen. Die Schäden nehmen ab bestimmten Partikelkonzentrationen überproportional zu, daher müssen sowohl die Partikelkonzentrationen als auch die Partikelgrössen in Echtzeit gemessen und mit den an den Turbinen auftretenden Schäden und Wirkungsgradverlusten verglichen werden. Durch die Echtzeitmessung und Korrelation der beiden Vorgänge lassen sich erstmals Strategien definieren, ab welchem Zeitpunkt es wirtschaftlich vorteilhaft ist, die Turbinen abzuschalten, weil die finanziellen Verluste infolge der Abrasionsschäden grösser sind als die Kosten des Erzeugungsausfalls. Für die Echtzeitmessung der Schwebstoffe im Triebwasser werden derzeit im Kraftwerk Fieschertal, wo die Untersuchungen stattfinden, fünf verschiedene Messverfahren parallel eingesetzt.

Klaus Jorde



















kurz berichtet ...

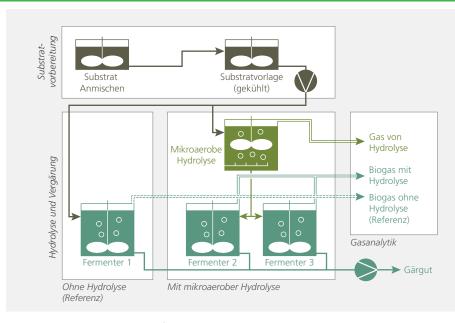
Methan aus «komplexer» Biomasse

Mit einer zweistufigen Vergärung im Pilotmassstab an der ZHAW soll eine signifikante Steigerung der Methanproduktion (plus 20 %) aus schwer abbaubarer faserreicher Biomasse (z. B. Mist, Gülle, Ernterückstände usw.) erreicht werden. Durch das biologische Vorbehandlungsverfahren der mikroaeroben Hydrolyse werden in der vorgeschalteten Hydrolysestufe geringe Mengen an Sauerstoff zugegeben, um organische Substanzen (Zellulose, Hemizellulose, Lignozellulose), die für die anaerobe Mikroflora schwer zugänglich sind, unter Bildung von gut abbaubaren Zwischenprodukten (organische Säuren, niedrige Alkohole und Ester) aufzuschliessen.

Sandra Hermle

Biogasreaktoren mit besseren Wirkungsgraden

Mittels einem sich selbst regenerierenden Sorptionskatalysator kann überschüssiges Kohlendioxid (CO₂), welches bei der anaeroben Vergärung mit 25–45 Vol. % anfällt, zu Methan umgewandelt werden («Bio-



Pilotanlage der ZHAW zur Verwertung faserreicher und schwer abbaubarer Biomasse.

gasupgrade»). Dabei wird dieses Kohlendioxid mit zusätzlichem Wasserstoff vollständig und zu 100 % reinem Methan umgesetzt. Ein sorptionsfähiger Nickelkatalysator nimmt das bei der Methanisierung von Wasserstoff und CO₂ entstehende Wasser auf und unterdrückt dabei die Bildung von unerwünschten Nebenprodukten. Gleichzeitig regeneriert sich der Katalysator eigenständig von Schwefelverunreinigungen, die am Katalysator adsorbieren und diesen vergiften könnten.

Sandra Hermle

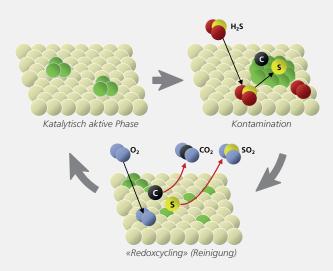
Pilotlinie für Solarfolien

Die Schweizer Firma Flisom hat im Jahr 2015 eine Pilotproduktionslinie für flexible CIGS-Dünnschichtphotovoltaikmodule in Betrieb genommen. Aktuell wird auf dieser Anlage mit einer Kapazität von 15 Megawatt in einem grösseren Projekt die Technologie auf industrieller Skala hochskaliert mit dem Ziel, erste IEC-qualifizierte Solarmodule herzustellen und die Markteinführung der Technologie voranzutreiben.

Stefan Oberholzer

Selbstregenerierende Materialien: Mikrostrukturelle und katalytische Erneuerung durch eine reversible Auslösung und Reintegration von Nickel und Edelmetallen (Quelle: ZHAW).

Pilotproduktionslinie für CIGS-Dünnschichtphotovoltaikmodule, welche in einem Rolle-zu-Rolle-Verfahren auf flexiblen Substraten produziert werden (Quelle: Flisom).





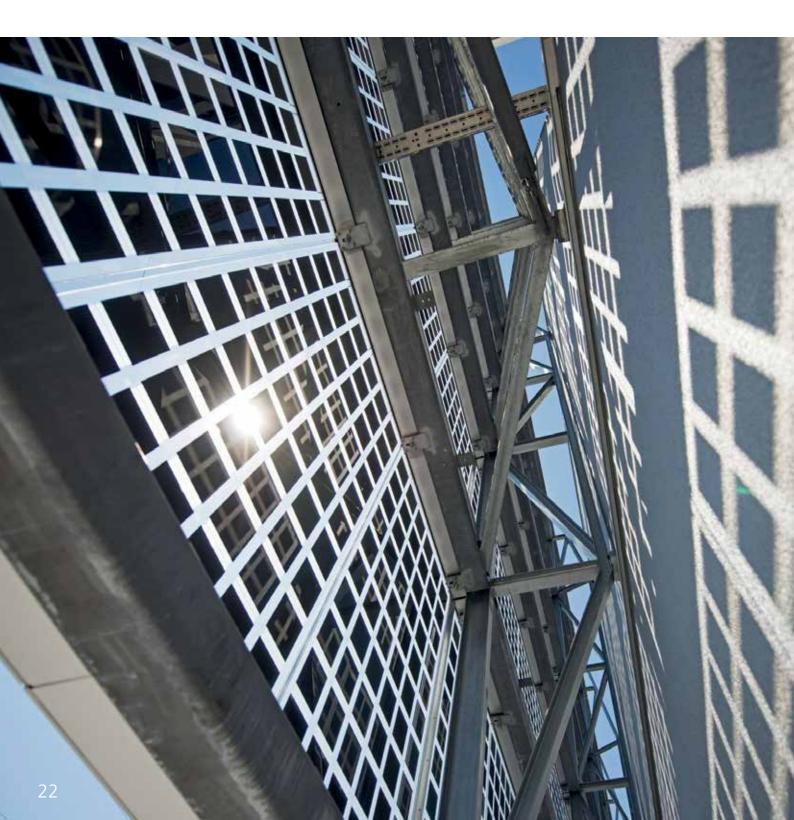




Sozioökonomische Aspekte von Energietechnologien und -systemen

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, oder den möglichen volkswirtschaftlichen Auswirkungen von energiepolitischen Instrumenten sowie deren soziale Akzeptanz unterstützt.





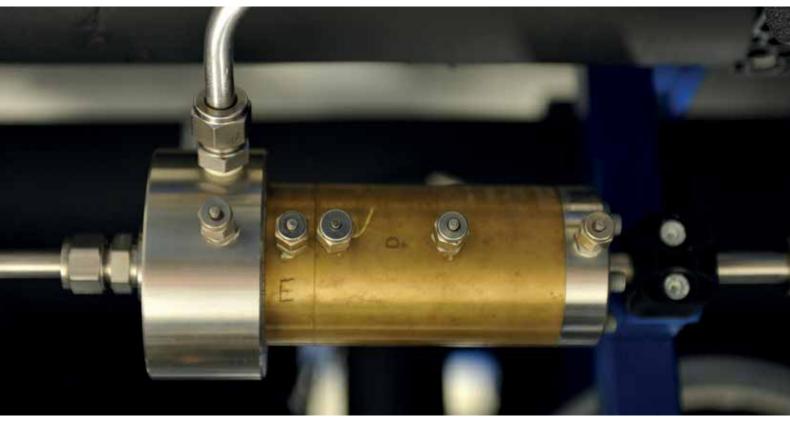
Individuelles energetisches Verhalten verstehen und beeinflussen

Der Grundsatzentscheid von Bundesrat und Parlament für einen schrittweisen Ausstieg aus der Atomenergie bedingt einen sukzessiven Umbau des Schweizer Energiesystems. Die Umsetzung der «Energiestrategie 2050» geht mit einer Verbesserung der Energieeffizienz, sowie mit einer Veränderung im Verhalten der Akteure einher. Verschiedene Studien im Forschungsprogramm EWG untersuchen die Frage, wie noch ungenutzte Potenziale zur Reduzierung des individuellen Energieverbrauchs erschlossen werden können.

Bei der Verbesserung der Energieeffizienz im Haushalt spielt Information beim Kauf neuer Geräte eine wichtige Rolle. Ziel ist es, dem Konsumenten durch Information einen rationalen und effizienten Kaufentscheid zu ermöglichen. Insbesondere gilt es, die Energieeffizienzlücke zu reduzieren. Diese entsteht dann, wenn der Konsument beim Kauf unter gleichwertigen Geräten nicht das energieeffizienteste wählt, obwohl dieses mit den geringsten Kosten über die gesamte Lebensdauer einhergeht. Ein Forscherteam der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Zürich ist der Frage nachgegangen, welche Art von Informationen Konsumenten beim Kauf brauchen, und welche Vorkenntnisse erforderlich sind, um diese Informationen richtig zu verstehen. Die Forscher konnten aufzeigen, dass die Wahrscheinlichkeit der Wahl des kosteneffizienten Gerätes steigt, wenn die Jahresenergiekosten in Franken, und nicht der Jahresenergieverbrauch in kWh angegeben werden. Ebenfalls höher liegt die Wahrscheinlichkeit für eine «richtige» Wahl bei Konsumenten, die Kompetenzen in der Berechnung des Wertes von Investitionen vorweisen. Damit wird nicht nur die Wichtigkeit eines Vorwissens der Käufer, sondern auch einer sorgfältig gewählten Präsentation der Informationen zum Energieverbrauch hervorgehoben.

Informationen zur Energieeffizienz erhalten Konsumenten aktuell vor allem über die Energieetikette. In einem weiteren Feldexperiment der ETH Zürich wurde der Einfluss zweier verschiedener Energieetiketten auf Onlinekäufe von Haushaltsgeräten

Photovoltaikfassade am CSEM in Neuchâtel mit bifacialen Solarzellen (Copyright: CSEM/David Marchon).



Bei Kühlregalen und in Tiefkühlräumen werden öfters CO₂-Kälteanlagen eingesetzt, die zwar ein umweltfreundliches Kältemittel verwenden, aber mit sehr hohen Drücken arbeiten. Entsprechend gross sind die Energieverluste über das Expansionsventil im Kältemittelkreislauf. Ein viel versprechender Ansatz, um solche Verluste zu vermeiden, ist der Einbau eines «Ejektors» (Bild), ein relativ einfaches Bauteil, das über eine Verengung im Rohrquerschnitt mit anschliessender konischer Erweiterung einen Unterdruck erzeugt und durch eine Bohrung ein zweites Fluid ansaugen kann. Dieses Bauteil wirkt dabei wie eine Pumpe, jedoch ohne bewegliche Teile (Quelle: Frigo-Consulting AG).

und Fernsehern untersucht. Es zeigte sich, dass die fest etablierte Energieetikette der Europäischen Union (EU) ebenso wie eine neue Energieetikette mit monetären und Lebenszyklus-bezogenen Informationen zum Stromverbrauch den jährlichen Stromverbrauch gekaufter Geräte unter bestimmten Voraussetzungen senken können. Bei Geräten mit hohen jährlichen Stromkosten scheinen monetäre und Lebenszyklusbezogene Informationen auf Energieetiketten besonders erfolgversprechend zu sein.

Trotz des Nutzens der EU-Energieetikette kommt es noch immer zu Missverständnissen: so beurteilen viele Konsumenten die Energiefreundlichkeit von elektrischen Geräten basierend auf der Energieeffizienz, und vernachlässigen den effektiven Stromverbrauch. Sie gehen davon aus, dass Energieeffizienz mit Stromverbrauch gleichzusetzen ist und somit eine hohe Effizienz automatisch einen tiefen Stromverbrauch impliziert. Dieser Fehlschluss zur Energieeffizienz ist problematisch, da er dazu führen kann, dass aufgrund des guten Effizienzratings beispielweise ein grösseres Gerät gewählt oder ein Gerät häufiger verwendet wird. Darüber hinaus wurde aufgezeigt, dass viele Konsumenten Mühe haben, Energieinformation korrekt

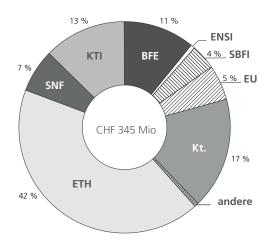
zu interpretieren. Dementsprechend schwierig ist es, das energiefreundlichste Gerät aus einer Auswahl zu identifizieren. Die Autoren entsprechender Untersuchungen empfehlen deshalb, Energieinformationen besser mit den Fähigkeiten der Konsumenten abzugleichen, insbesondere in Bezug auf die numerische Information zum Jahresverbrauch. Darüber hinaus kann die Verwendung einer absoluten Skala für das Energieeffizienzrating empfohlen werden, da dies die Problematik des Fehlschlusses zur Energieeffizienz reduzieren würde.

Anne-Kathrin Faust

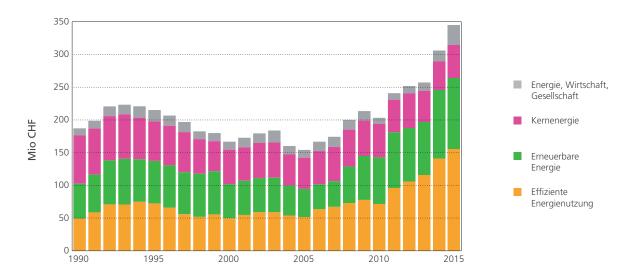


Zahlen und Fakten

Seit 1977 erfasst das Bundesamt für Energie (BFE) Daten zu Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprojekten im Energiebereich in der Schweiz. Die Erhebung erfolgt über Abfragen von Datenbanken des Bundes, des SNF und der EU, Analyse von Jahres- und Geschäftsberichten sowie über eine Selbstdeklaration der Forschungsverantwortlichen der Forschungsstätten. Die thematische Einordnung und abschliessende Prüfung der Projekte erfolgt durch das BFE. Jährlich werden rund 1400 Projekte erfasst, geprüft und statistisch ausgewertet. Eine Übersicht dazu ist unter www.energieforschung.ch veröffentlicht.



Herkunft der öffentlichen Mittel für die Energieforschung 2015: ETH = ETH-Bereich: ETHZ, EPFL, Empa, PSI, Eawag, WSL; SNF = Schweizerischer Nationalfonds; KTl = Kommission für Technologie und Innovation; BFE = Bundesamt für Energie; ENSI = Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat; SBFI = Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation; EU = Europäische Union; Kt. = Kantone.



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

Aufwendungen der öffentlichen Hand 2015 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.

1 Energy Efficiency	94.4
11 Industry	17.7
12 Residential and commercial buildings, appliances and equipment	25.3
13 Transport	40.1
14 Other energy efficiency	11.0
19 Unallocated energy efficiency	0.3
2 Fossil Fuels: Oil, Gas and Coal	13.2
21 Oil and gas	7.0
23 CO ₂ capture and storage	6.2
29 Unallocated fossil fuels	0.1
3 Renewable Energy	92.3
31 Solar energy	45.9
311 Solar heating and cooling	5.0
312 Solar photovoltaics	32.2
313 Solar thermal power and high-temp. applications	6.4
319 Unallocated solar energy	2.2
32 Wind energy	1.9
34 Biofuels (incl. liquid biofuels, solid biofuels and biogases)	17.7
35 Geothermal energy	14.1
36 Hydroelectricity	12.5
39 Unallocated renewable energy sources	0.2
4 Nuclear Fission and Fusion	51.2
41 Nuclear fission	25.6
42 Nuclear fusion	24.3
49 Unallocated nuclear fission and fusion	1.2
5 Hydrogen and Fuel Cells	27.9
51 Hydrogen	11.3
52 Fuel cells	6.4
59 Unallocated hydrogen and fuel cells	10.2
6 Other Power and Storage Technologies	39.6
61 Electric power generation	7.6
62 Electricity transmission and distribution	23.3
63 Energy storage (non-transport applications)	8.7
631 Electrical storage	4.5
632 Thermal energy storage	2.3
639 Unallocated energy storage	1.9
7 Other Cross-Cutting Technologies and Research	26.5
71 Energy system analysis	24.9
72 Basic energy research that cannot be allocated to a specific category	1.0
73 Other	0.6
Total	345.1



Internationale Zusammenarbeit

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 beson-

dere 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).

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

ne 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 multiliterale Zusammenarbeit mit ausgewählten Ländern.

Impressum

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



Bundesamt für Energie (BFE) CH-3003 Bern

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