



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Bundesamt für Energie BFE
Office fédéral de l'énergie OFEN
Ufficio federale dell'energia UFE
Swiss Federal Office of Energy SFOE

Energieforschung 2012

Überblicksberichte

Recherche énergétique 2012

Rapports de synthèse



Titelbild:

Konzentrierende Solaranlage mit Parabolrinnenkollektoren der Schweizer Firma NEP Solar (www.nep-solar.com): Die Anlage mit einer Gesamtfläche von 627 m² (siebzehn Module des Typs PolyTrough 1800) wurde im Jahr 2012 auf dem Dach der Fromagerie de Saignelégier in Betrieb genommen und ermöglicht eine Einsparung von 30'000 l Heizöl pro Jahr, was einer Reduktion der CO₂-Emissionen von 79 t pro Jahr entspricht (Quelle: Institut für Solartechnik SPF-HSR, Rapperswil).

Page de titre :

Installation solaire avec des concentrateurs paraboliques linéaires de l'entreprise suisse NEP Solar (www.nep-solar.com) : L'installation d'une surface de 627 m² (dix-sept modules du type PolyTrough 1800) a été mise en service en 2012 sur le toit de la Fromagerie de Saignelégier et permet d'économiser 30'000 l de mazout par an, ce qui équivaut à une réduction de 79 t d'émissions de CO₂ par an (Source : Institut pour la technologie solaire SPF-HSR, Rapperswil).

Allgemeine Auskünfte: / Renseignements généraux :

Dr. Rolf Schmitz, BFE, 3003 Bern / OFEN, 3003 Berne
Tel. +41 (0)31 322 56 58 / Fax +41 (0)31 323 25 00

Edition & Layout: / Édition & mise en page :

Dr. Stefan Oberholzer, BFE, 3003 Bern / OFEN, 3003 Berne
Tel. +41 (0)31 325 89 20 / Fax +41 (0)31 323 25 00

Bezugsort für Berichte / Centre de distribution pour les rapports :

BFE, Sektion Kommunikation, 3003 Bern /
OFEN, Section Communication, 3003 Berne

**Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind allein
die Autoren der einzelnen Berichte verantwortlich.**

**Les auteurs des différents rapports portent seuls
la responsabilité du contenu et des conclusions.**

www.energieforschung.ch
www.recherche-energetique.ch
www.energy-research.ch
www.bfe.admin.ch/cleantech

29.04.2013

Energieforschung 2012

Recherche énergétique 2012

Vorwort / Avant-propos	3
Energieforschungsprogramme 2012 / Programmes de recherche énergétique 2012	5

Überblicksberichte / Rapports de synthèse

Effiziente Energienutzung / Utilisation efficace de l'énergie

Energie in Gebäuden / Énergie dans les bâtiments	11
Verkehr und Akkumulatoren / Transport et Accumulateurs.....	23
Elektrizitätstechnologien und -anwendungen / Technologies et utilisations de l'électricité.....	33
Netze / Réseaux	45
Wärmepumpen und Kälte / Pompes à chaleur et Froid	57
Verbrennung und Wärme-Kraft-Kopplung / Combustion et Couplage chaleur-force	67
Kraftwerk 2020 und CCS / Centrale thermique 2020 et CCS	77
Brennstoffzellen / Piles à combustible	85
Industrielle Prozesse / Processus industriels.....	97

Erneuerbare Energien / Sources d'Énergie Renouvelables

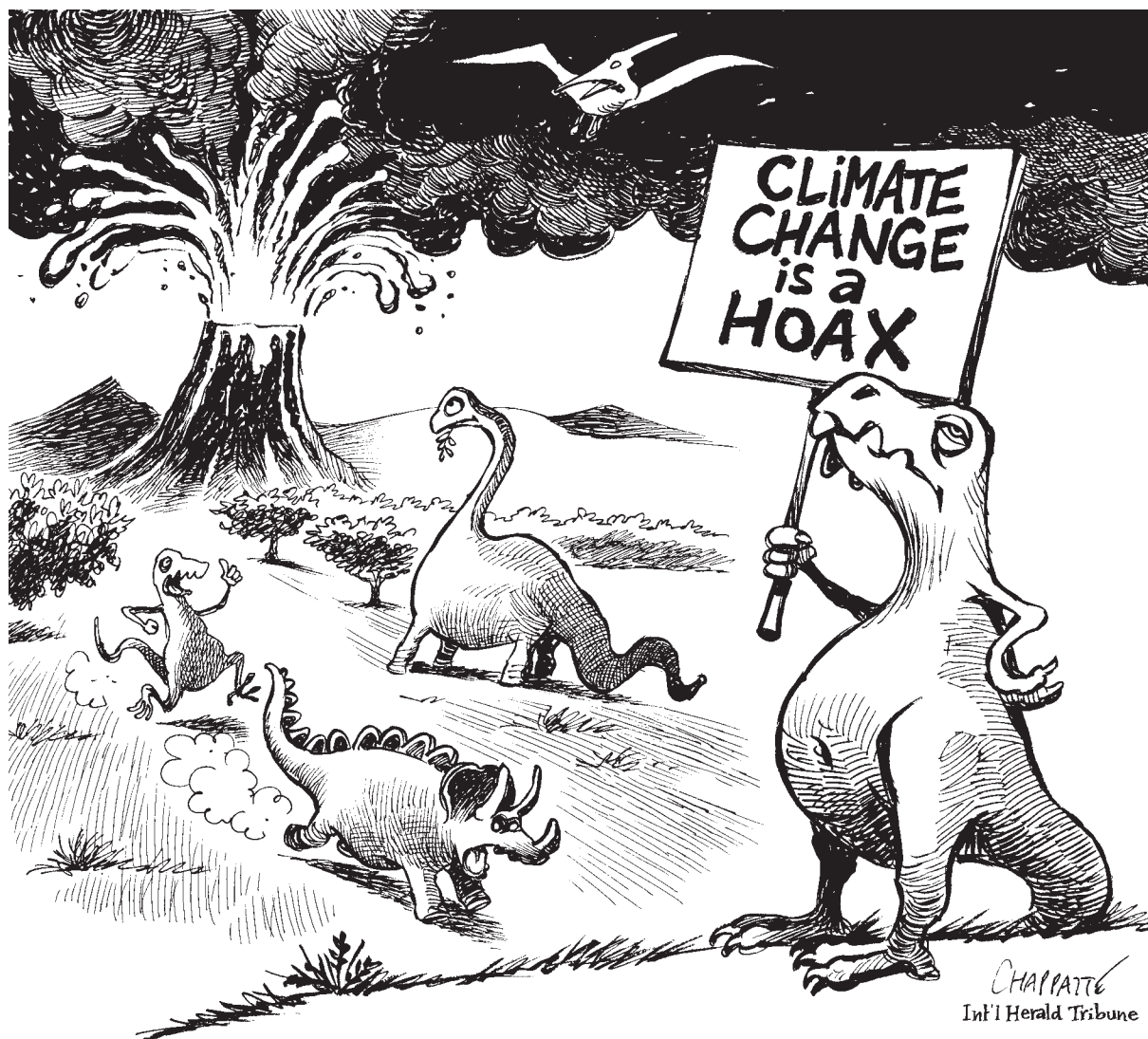
Solarwärme und Wärmespeicherung / Chaleur solaire et Stockage de chaleur.....	107
Photovoltaik / Photovoltaïque	117
Solare Hochtemperaturprozesse / Solaire industriel à haute température	137
Wasserstoff / Hydrogène.....	149
Biomasse und Holzenergie / Biomasse et Énergie du bois	163
Wasserkraft / Force hydraulique	179
Geothermie / Géothermie	189
Windenergie / Énergie éolienne	199
Talsperren / Barrages.....	209

Kernenergie / Énergie Nucléaire

Kerntechnik und Nukleare Sicherheit / Technique et Sécurité nucléaires.....	213
Regulatorische Sicherheitsforschung / Recherche réglementaire en sécurité.....	215
Kernfusion / Fusion thermonucléaire contrôlée.....	225
Radioaktive Abfälle / Déchets radioactifs	231

Querschnittsprogramme / Programmes Transverseaux

Energie – Wirtschaft – Gesellschaft / Énergie – Économie – Société	239
--	-----



«Climate change is a hoax / Le changement climatique est un canular / Der Klimawandel ist eine Falschmeldung»
Chappatte © in «International Herald Tribune» – www.globecartoon.com

Vorwort

Das Bundesamt für Energie (BFE) koordiniert die Energieforschung in der Schweiz in enger Zusammenarbeit mit den anderen Institutionen, welche die Forschung unterstützen, insbesondere mit dem ETH-Rat, dem Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation (SBFI), der Kommission für Technologie und Innovation (KTI), dem Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (SNF), den universitären Hoch- und Fachhochschulen sowie den privaten Förderstellen der Energiewirtschaft. Die Energieforschung der öffentlichen Hand richtet sich nach dem Konzept der Energieforschung des Bundes. Die Aufwendungen der öffentlichen Hand liegen jährlich bei rund 200 Mio. Franken.

Ein Grossteil der Projekte wird an öffentlichen Forschungsstätten durchgeführt. Auf Bundesebene sind die Hauptakteure die Eidgenössischen Technischen Hochschulen in Zürich (ETH) und Lausanne (EPFL), das Paul Scherrer Institut (PSI) und die Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa). Auf kantonaler Ebene engagieren sich die Universitäten und die Fachhochschulen. Ausserdem werden von öffentlichen Stellen auch Forschungsprojekten von Industrie, Ingenieurbüros und Privatpersonen Finanzhilfen gewährt. Solche Projekte werden möglichst partnerschaftlich mit öffentlichen Forschungsanstalten durchgeführt. Für das BFE gilt dabei das Prinzip der Subsidiarität, d. h. die öffentliche Förderung dient nur zur zwingend notwendigen Ergänzung der bereitgestellten privaten Mittel.

Die im vorliegenden Band publizierten Überblicksberichte der Programmleiter des BFE geben eine Übersicht zu den verschiedenen Aktivitäten in den einzelnen Forschungs- und Entwicklungsbereichen. Eine Liste laufender und im Berichtsjahr abgeschlossener Projekte (total 474 Projekte) findet sich jeweils im Anhang der Überblicksberichte.

April 2013

Bundesamt für Energie (BFE)

Avant-propos

L'Office fédéral de l'énergie (OFEN) coordonne la recherche énergétique en Suisse en étroite collaboration avec les autres institutions publiques de soutien à la recherche, en particulier le Conseil des EPF, le Secrétariat d'Etat à la formation, à la recherche et à l'innovation (SEFRI), la Commission pour la technologie et l'innovation (CTI), le Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNS), les Universités et les Hautes écoles spécialisées, ainsi que les fonds privés de l'industrie énergétique. Le Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération est le fil conducteur de la recherche soutenue par les pouvoirs publics dans le domaine de l'énergie. Les dépenses des collectivités publiques se situent vers 200 MCHF par an.

Une grande partie des projets sont conduits par les établissements de recherche publics. Au niveau fédéral, les principaux acteurs sont les Écoles polytechniques fédérales de Zurich (EPFZ) et de Lausanne (EPFL), l'Institut Paul Scherrer (PSI) et le Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche (Empa). Au niveau cantonal, les Universités et les Hautes écoles spécialisées se répartissent les projets. En outre, il n'est pas rare que les collectivités publiques attribuent une aide financière à des projets de recherche de l'industrie, de bureaux d'ingénieurs ou de particuliers. Ces projets sont réalisés dans la mesure du possible en partenariat avec les établissements de recherche publics. Le principe de subsidiarité est appliqué par l'OFEN, c'est-à-dire que l'aide publique ne sert qu'à compléter les fonds disponibles lorsque cela est absolument nécessaire.

Le présent volume rassemble les rapports de synthèse annuels des chefs de programme de l'OFEN. On y trouvera une vue d'ensemble des activités dans les différents domaines de recherche et développement. Une liste des projets en cours et terminés dans l'année de référence (en total 474 projets) se trouve dans l'annexe des rapports de synthèse.

Avril 2013

Office fédéral de l'énergie (OFEN)

Energieforschungsprogramme 2012

Programmes de recherche énergétique 2012



Energie in Gebäuden / Energie dans les bâtiments

www.bfe.admin.ch/forschungsgebaeude

BFE Programmleiter: Rolf Moser (moser@enerconom.ch)

BFE Bereichsleiter: Andreas Eckmanns (andreas.eckmanns@bfe.admin.ch)



Akkumulatoren und Superkondensatoren / Accumulateurs et Supercondensateurs

www.bfe.admin.ch/forschungakkumulatoren

BFE Programmleiter: Martin Pulfer (martin.pulfer@bfe.admin.ch)

BFE Bereichsleiter: dito



Verkehr / Transport

www.bfe.admin.ch/forschungsverkehr

BFE Programmleiter: Martin Pulfer (martin.pulfer@bfe.admin.ch)

BFE Bereichsleiter: dito



Elektrizitätstechnologien und -anwendungen / Technologies et utilisations de l'électricité

www.bfe.admin.ch/forschungelektrizitaet

BFE Programmleiter: Roland Brüniger (roland.brueeniger@r-brueniger-ag.ch)

BFE Bereichsleiter: Dr. Michael Moser (michael.moser@bfe.admin.ch)

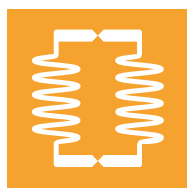


Netze / Réseaux

www.bfe.admin.ch/forschungnetze/

BFE Programmleiter: Dr. Michael Moser (michael.moser@bfe.admin.ch)

BFE Bereichsleiter: dito



Wärmepumpen und Kälte / Pompes à chaleur et Froid

www.bfe.admin.ch/forschungverbrennung

BFE Programmleiter: Stephan Renz (renz.btr@swissonline.ch)

BFE Bereichsleiter: Martin Pulfer (martin.pulfer@bfe.admin.ch)



Kraftwerk 2020 und Carbon Capture & Storage / Centrale thermique 2020 et Carbon Capture & Storage

www.bfe.admin.ch/forschungkraftwerk

BFE Programmleiter: Dr. Peter Jansohn (peter.jansohn@psi.ch)

BFE Bereichsleiter: Dr. Gunter Siddiqi (gunter.siddiqi@bfe.admin.ch)



Verbrennung und Wärme-Kraft-Kopplung / Combustion et Couplage chaleur-force

www.bfe.admin.ch/forschungverbrennung

BFE Programmleiter: Stephan Renz (renz.btr@swissonline.ch)

BFE Bereichsleiterin: Dr. Sandra Hermle (sandra.hermle@bfe.admin.ch)



Brennstoffzellen / Piles à combustible

www.bfe.admin.ch/forschungbrennstoffzellen

BFE Programmleiter: Dr. Stefan Oberholzer (stefan.oberholzer@bfe.admin.ch)

BFE Bereichsleiter: dito



Industrielle Prozesse / Processus industriels

www.bfe.admin.ch/forschungsverfahrenstechnik

BFE Programmleiter: Dr. Michael Spirig (m.spirig@fomenta.ch)

BFE Bereichsleiter: Martin Pulfer (martin.pulfer@bfe.admin.ch)

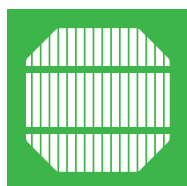


Solarwärme und Wärmespeicherung / Chaleur solaire et Stockage de chaleur /

www.bfe.admin.ch/forschungsolarwaerme

Chef de programme OFEN: Jean-Christophe Hadorn (jchadorn@baseconsultants.com)

Chef de domaine OFEN: Andreas Eckmanns (andreas.eckmanns@bfe.admin.ch)

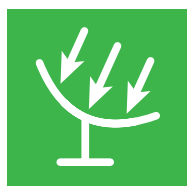


Photovoltaik / Photovoltaïque

www.bfe.admin.ch/forschungphotovoltaik / www.photovoltaik.ch

BFE Programmleiter: Dr. Stefan Nowak (stefan.nowak@netenergy.ch)

BFE Bereichsleiter: Dr. Stefan Oberholzer (stefan.oberholzer@bfe.admin.ch)



Solare Hochtemperaturprozesse / Solaire industriel à haute température /

www.bfe.admin.ch/forschungindustriesolar

Chef de programme OFEN: Pierre Renaud (pierre.renaud@planair.ch)

Chef de domaine OFEN: Dr. Stefan Oberholzer (stefan.oberholzer@bfe.admin.ch)



Wasserstoff / Hydrogène

www.bfe.admin.ch/forschungwasserstoff

BFE Programmleiter: Dr. Stefan Oberholzer (stefan.oberholzer@bfe.admin.ch)
BFE Bereichsleiter: dito



Biomasse und Holzenergie / Biomasse et Énergie du bois

www.bfe.admin.ch/forschung/biomasse

BFE Programmleiterin: Dr. Sandra Hermle (sandra.hermle@bfe.admin.ch)
BFE Bereichsleiterin: dito



Wasserkraft / Force hydraulique

www.bfe.admin.ch/forschungwasserkraft

BFE Programmleiter: Dr. Klaus Jorde (klaus.jorde@kjconsult.net)
BFE Bereichsleiter: Dr. Michael Moser (michael.moser@bfe.admin.ch)



Geothermie / Géothermie

www.bfe.admin.ch/forschunggeothermie

BFE Programmleiter: Dr. Rudolf Minder (rudolf.minder@bluewin.ch)
BFE Bereichsleiter: Dr. Gunter Siddiqi (gunter.siddiqi@bfe.admin.ch)



Windenergie / Énergie éolienne

www.bfe.admin.ch/forschungwindenergie

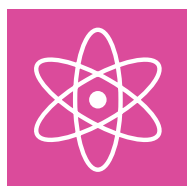
BFE Programmleiter: Robert Horbaty (robert.horbaty@enco-ag.ch)
BFE Bereichsleiterin: Dr. Katja Maus (katja.maus@bfe.admin.ch)



Talsperren / Barrages

www.bfe.admin.ch/talsperren

BFE Programmleiter: Dr. Georges Darbre (georges.darbre@bfe.admin.ch)
BFE Bereichsleiter: dito



Kerntechnik und nukleare Sicherheit / Technique et Sécurité nucléaires *

<http://nes.web.psi.ch>

BFE Programmleiter: Dr. Jean-Marc Cavedon (Jean-Marc.Cavedon@psi.ch)
BFE Bereichsleiter: Dr. Michael Moser (michael.moser@bfe.admin.ch)



Regulatorische Sicherheitsforschung / Recherche réglementaire en sécurité *

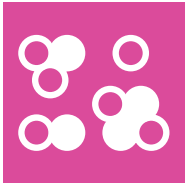
www.ensi.ch

BFE Programmleiter:

Dr. Reiner Mailänder (reiner.mailaender@ensi.ch)

BFE Bereichsleiter:

Dr. Michael Moser (michael.moser@bfe.admin.ch)



Kernfusion / Fusion thermonucléaire contrôlée *

<http://crppwww.epfl.ch>

BFE Programmleiter:

Claude Vaucher (claudio.vaucher@sbfi.admin.ch)

BFE Bereichsleiter:

Dr. Michael Moser (michael.moser@bfe.admin.ch)



Radioaktive Abfälle / Déchets radioactifs

www.bfe.admin.ch/forschungradioaktiveabfaelle

BFE Programmleiterin:

Simone Brander (simone.brander@bfe.admin.ch)

BFE Bereichsleiterin:

dito



Energie – Wirtschaft – Gesellschaft / Énergie – Économie – Société

www.ewg-bfe.ch

BFE Programmleiterin:

Dr. Nicole A. Mathys (Nicole.Mathys@bfe.admin.ch)

BFE Bereichsleiterin:

dito

* Die drei Forschungsprogramme *Kerntechnik und nukleare Sicherheit*, *Regulatorische Sicherheitsforschung* und *Kernfusion* werden nicht direkt vom Bundesamt für Energie (BFE) betreut. Das BFE hat lediglich die Rolle der Auskunftsstelle inne.



***Effiziente Energienutzung
Utilisation efficace de l'énergie***

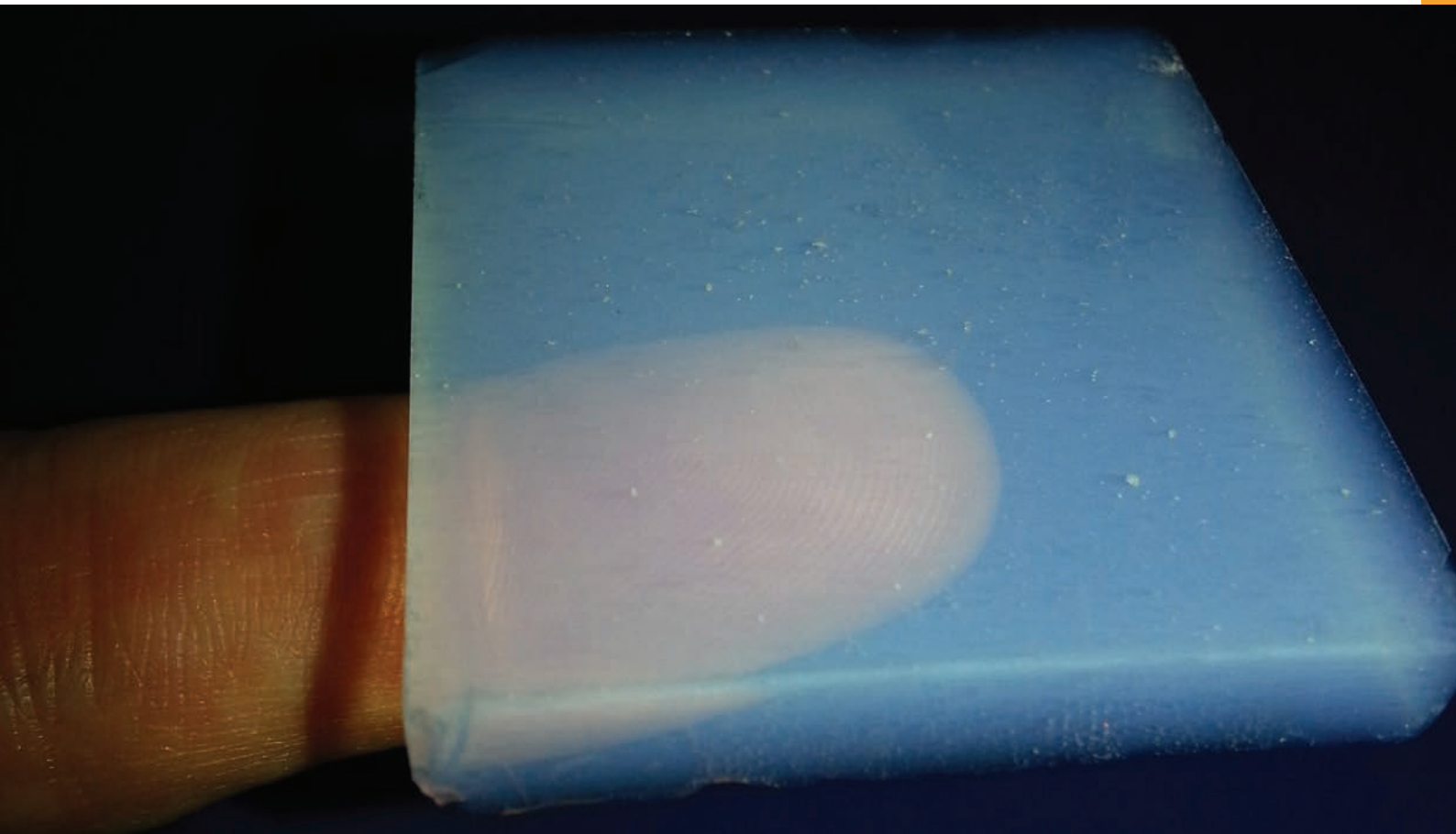
Bild vorherige Seite:

Nischenanwendungen als Wegbereiter spielen bei der Markteinführung der Brennstoffzellentechnologie eine wichtige Rolle. Im Projekt *hy.muve* der Empa und anderer Partner wurde ein praxistauglicher Brennstoffzellenantrieb entwickelt, mit welchem der energetische Verbrauch eines Wischfahrzeuges der Firma Bucher Schörli gegenüber einem dieselmotorischen Antrieb halbiert werden konnte. Insbesondere wurden auch die Geräuschemissionen solcher Fahrzeuge erheblich reduziert. Das Fahrzeug war in den letzten Jahren in verschiedenen Schweizer Städten erfolgreich im Einsatz (www.Empa.ch/hy.muve).



Rolf Moser

Energie in Gebäuden



Aerogel from sodium silicate Towards cost-effective mass production technologies

Die Empa beschäftigt sich schon seit Jahren mit der Nutzung von Aerogel für die Gebäudedämmung. So wurde der im vergangenen Jahr auf dem Markt eingeführte Aerogel-Dämmputz in Zusammenarbeit mit der Empa entwickelt. In einem neuen Projekt soll nun eine neue Generation von Aerogel entwickelt werden, die auf einem günstigeren Ausgangsprodukt basiert. Die Herausforderung besteht darin, die Stabilität des Gels für eine Anwendung nachhaltig zu erhöhen. Damit könnte das heute noch relativ teure Material kostengünstiger hergestellt werden. (Bildquelle: Empa).

Einleitung

Die Nuklearkatastrophe von Fukushima im März 2011 hat in der Schweiz eine alte politische Kontroverse wieder angestoßen: wie sieht der Weg zu einer erneuerbaren Energiewirtschaft aus? Der Bundesrat hat 2012 seine Vorstellungen dazu formuliert: neben der Effizienzsteigerung gewinnen die erneuerbaren Energieträger zunehmend an Bedeutung. Insbesondere unter dem Eindruck der im vergangenen Jahr stark abnehmenden Photovoltaik-Preise rücken diese Pläne schneller in Reichweite. Parallel dazu werden die energiepolitischen Zielsetzungen ohne weitere flankierende Massnahmen nicht in vernünftiger Frist erreichbar sein. Neben der viel diskutierten Deckung der mittelfristigen Elektrizitätslücke bleibt der Ersatz der fossilen Energieträger ein brisantes Thema.

Die Diskussion energiepolitischer Themen in der breiten Bevölkerung ist willkommen und ebnet den Weg für Massnahmen. So stehen dem BFE in den kommenden Jahren zusätzliche Fördermittel für Pilot- und Demonstrationsanlagen (P&D) zur Verfügung, die unter anderem in besonders augenfällige Projekte (Leuchttürme) investiert werden sollen. Die direkte Förderung der Energieforschung durch das BFE wird auf dem Niveau der Vorjahre weitergeführt.

Fukushima hat einige bereits bekannte Themen akzentuiert: so wurden 2012 mehrere Projekte zum Thema Gebäude als Speicherkraftwerke vorgeschlagen, als Beitrag für einen Ausgleich der wechselhaften Produktion durch erneuerbare Energien. Das Speicherthema wie auch die produktionsgeführte Nachfragerregulierung (Smart Building und Smart Grid) haben generell an Bedeutung gewonnen. Daneben bewegt sich die Energieforschung zunehmend vom Einzelgebäude zum Areal: Mit Forschung und Pilotprojekten zum Thema Plusenergiehaus konnte der Nachweis von Gebäuden mit einer neutralen Betriebsenergie-Bilanz erbracht werden. Nun sollen vermehrt die Synergien in Quartieren und Stadtteilen genutzt werden. Dies bedingt neben den Beiträgen aus der Forschung vor allem verstärkte Aktivitäten in der Anwendung und Umsetzung.

Ein weiterer Schwerpunkt der Tätigkeiten im Forschungsprogramm war 2012 das Vierjahresprogramm: auf der Grundlage des CORE-Programms (CORE = Eidgenössische Energieforschungskommission) wurde Mitte 2012 ein neues Vierjahresprogramm formuliert. Dieses definiert die Forschungsschwerpunkte, welche in den Jahren 2013–2016 untersucht werden sollen und dient gleichzeitig als mittelfristige Grundlage zur Beurteilung von Projektvorschlägen im Forschungsprogramm.

IEA Klassifikation: 1.2 Residential and commercial

Schweizer Klassifikation: 1.1 Energie in Gebäuden

Programmschwerpunkte

Für das Forschungsprogramm *Energie in Gebäuden* wurden im Vierjahresprogramm 2013–2016 folgende Schwerpunkte definiert:

- **Bauerneuerung hat Priorität vor Neubau:** In den vergangenen Jahren hat sich die energetische Qualität von Neubauten stark verbessert. In den nächsten Jahren steht vermehrt die Verbesserung der bestehenden Gebäude im Fokus.
- **Technologie optimal nutzen:** Aufgrund des abnehmenden Gewichtes des Heizenergiebedarfs gewinnen die Nebenbezüge wie Hilfsantriebe, Förderpumpen und das Warmwasser an Gewicht. Auch der Energiebedarf für Kühlung wird in Zukunft ansteigen.
- **Vom Gebäude zum Areal:** Die Betrachtung geht weg vom Einzelteil hin zur systemischen Gesamtsicht. Die Systemgrenze wird über das Gebäude hinaus ausgedehnt zu Arealen, Siedlungen oder ganzen Städten. Dabei sind Themen der Arealversorgung, Abwärmenutzung, gegenseitige Beeinflussung verschiedener Gebäude zu beachten.
- **Speicherkraftwerk Haus:** Jedes Gebäude hat ein Potenzial als Kraftwerk. Energiequellen im Untergrund, der Umgebung oder vom Dach wie auch die gekoppelte Erzeugung von Wärme und Elektrizität müssen in Zukunft konsequent genutzt werden. Um die damit einhergehende Fluktuation der Rückspeisung und des Verbrauchs von elektrischem Strom zu reduzieren, sollen vermehrt Energiespeichermöglichkeiten im Gebäude genutzt werden.
- **Indirekter Energiebedarf:** Die von den Gebäuden und ihren Nutzern indirekt beeinflussten Energieaspekte müssen in ihrer Gesamtheit beurteilt werden. Graue Energie und durch den Standort bedingte Mobilität sind offensichtlich für den ökologischen Fussabdruck eines Gebäudes entscheidend. Die Bewohner tragen mit ihrem Verhalten wesentlich zum Energieverbrauch bei.

Rückblick und Bewertung 2012

Das Jahr 2012 bildete im Forschungsprogramm *Energie in Gebäuden* Abschluss und Neuanfang in verschiedener Hinsicht:

- Da war einmal der Wechsel in der Programmleitung, der dank der sorgfältigen Vorbereitung des scheidenden Programmleiters Charles Filleux gut überbrückt wurde.
- Mit diesem Wechsel zusammen fällt ebenfalls der Abschluss einer grossen Zahl von Forschungsprojekten, die 2009 im Rahmen einer Ausschreibung initiiert worden waren. Etwas mehr als 30 Schlussberichte konnten Anfang 2012 auf der BFE-Homepage publiziert werden. Eine entsprechende Übersicht ist im Jahresbericht 2011 des Programmes ersichtlich.
- Das Jahr bildete auch den Abschluss der Programmphase 2008–2012, die mit dem neuen CORE-Forschungskonzept und dem neuen BFE-Vierjahresprogramm abgeschlossen resp. neu begonnen wurde.

Die 2012 abgeschlossenen Projekte betreffen z. B. die solar-orientierte Konzeption von Gebäuden, die Wechselwirkung von Gebäuden im städtischen Raum, das Gebäude als Kraftwerk oder intelligente regeltechnische Systeme. Diesen Projekten gemeinsam ist eine grosse Nähe zur praktischen Anwendung – entweder in der Konzeption oder in der Umsetzung von energetisch optimalen Gebäuden. Die Energieforschung orientiert sich dabei möglichst an den realen Bedürfnissen des Marktes mit einer mittelfristigen Vision der Entwicklung.

Ausblick

Zum Jahreswechsel 2012/2013 wurde eine Serie spannender neuer Projekte gestartet, die wiederum aktuelle Themen der Energieforschung behandeln. Hier einige Beispiele:

- Entwicklung eines kostengünstigeren Aerogel-Dämmmaterials;
- Untersuchung der ökologisch sinnvollen Dämmstärke von Gebäuden;
- Erarbeitung der Grundlagen für eine Aktualisierung der SIA 380/4 im Zusammenhang mit der Wirkung von Sonnenstoren;
- In einem geplanten Projekt nationaler Bedeutung soll der mögliche Beitrag des schweizerischen Gasnetzes zur Lösung der Speicherproblematik Sommer/Winter im Zusammenhang mit Gebäuden untersucht werden. Dieses Projekt soll in Abstimmung mit dem Forschungsprogramm *Netze* realisiert werden.

Im Frühling 2013 soll im Forschungsprogramm wie bereits 2009 ein Aufruf zur Eingabe neuer Forschungsprojekte realisiert werden. Dabei werden im Wesentlichen die Schwerpunkte des Vierjahresprogrammes aufgegriffen, wobei einige Themen auch detaillierter vorgegeben werden.

Die Energieforschung hat in den vergangenen Jahren stetig an Bedeutung gewonnen, entsprechend werden die Mittel in verschiedenen Kanälen laufend aufgestockt. Um die Forschungsmittel des Bundes möglichst effizient einsetzen zu können, wird die BFE-interne, die nationale und die internationale Vernetzung zunehmend wichtiger.

Highlights aus Forschung und Entwicklung

Am Ende des Berichtsjahres 2012 umfasst das Forschungsprogramm *Energie in Gebäuden* 32 laufende Projekte, davon 8 Pilot- und Demonstrationsprojekte. Stellvertretend werden nachfolgend zwei Forschungs- und ein P&D-Projekt vorgestellt, die Ende Berichtsjahr abgeschlossen wurden.

Kraftwerk «Haus» im ländlichen Raum

Die dezentrale Produktion erneuerbarer Energien und die intelligente Steuerung von relevanten Stromverbrauchern im

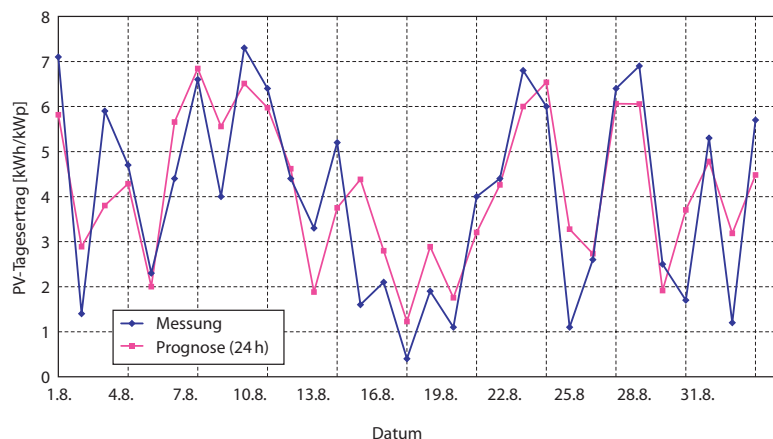
Haushalt sind im Bereich der Elektrizitätsversorgung zentrale Elemente für die Umsetzung der Schweizer Energiestrategie 2050. Am Ökozentrum in Langenbruck wurde in einem Praxisversuch ein lokales Strom-Lastmanagement (LLM) mit verschiedenen Verbrauchern und einer Photovoltaikanlage installiert und auf Erzeugung und Verbrauch analysiert. Das Ziel der verwendeten Algorithmen war eine Reduktion von Bezugsspitzen aus dem Versorgungsnetz und eine Erhöhung des Eigenstromverbrauchs. Basierend auf Meteodaten wurde zusätzlich die Wirkung einer prädiktiven Regelung untersucht.

Gemessen am Leistungsbezug des Gebäudes aus dem Versorgungsnetz konnte das LLM die Lastspitzen an Wochentagen um den Faktor 7 reduzieren. Während der Zeit mit erhöhtem Bezug aus dem Versorgungsnetz konnten die Lastspitzen um den Faktor 4 reduziert werden. Der Eigenstromverbrauch konnte durch das LLM von 32 % auf über 50 % erhöht werden.

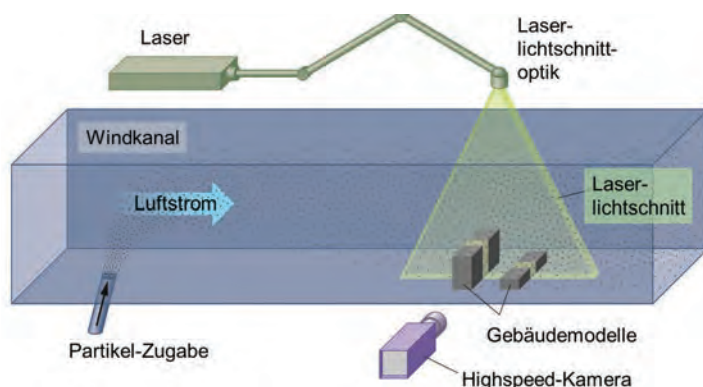
Die prädiktive Regelung war für das Institutsgebäude mit geringer thermischer und ohne elektrischer Speichermöglichkeit schwierig umzusetzen. Die Abweichungen des prognostizierten zum effektiv produzierten Stromertrag am Standort des Institutsgebäudes waren zu gross, um eine prädiktive Regelstrategie mit signifikantem Nutzen für die Reduktion der Lastspitzen einzusetzen.

Betrachtungen zur Technik und zur Ökonomie zeigen, dass ein effizientes und wirtschaftliches LLM aktuell nur mit ausgewählten Verbrauchern mit relevantem Strombedarf wie Wärmepumpen-Gebäudeheizung, Warmwassererwärmung und Elektroauto-Ladestationen zu erzielen ist. Speziell für Kleinverbraucher wie Gefrier- und Kühlgeräte sowie Waschmaschinen und Geschirrspüler ist der Aufwand für die Installation, Programmierung und Abrechnung eines LLM tendenziell zu hoch, betrachtet man die finanziell möglichen Einsparungen.

Neben dem Lastmanagement sollten in zukünftigen Projekten weitere Optionen für das Zusammenspiel von dezentralen Produktionsanlagen und Netz geprüft werden. Die Leistungsreduktion bei Photovoltaikanlagen oder dezentrale Stromspeicherung sind mögliche Ergänzungen zum LLM. Speziell für die saisonale Energieversorgung sind stromgeführte Mikro-WKK-Anlagen im Gebäude zu prüfen.



Figur 1: Der spezifische Ertrag von Photovoltaikanlagen kann basierend auf Meteodaten innerhalb von 24 h gut prognostiziert werden. Der Elektrizitätsversorger einer Region kann damit die Regelstrategie von lokalen Lastmanagement-Systemen anpassen. (Quelle: VSE-Bulletin 12s/2011 / Ökozentrum Langenbruck).



Figur 2: Mit Windkanalmessungen wurden das Strömungsverhalten und die Temperaturverteilungen aus den Berechnungen validiert. Dazu wurde ein Modell der Strassenflucht mit einem Abstand zu Höhe-Verhältnis von 1 aufgebaut. Die Strömungsmessung basieren auf Partikelmessungen (Quelle: Final Report Urban Climate and Energy Demand in Buildings, Empa/Basler&Hofmann AG, Dezember 2012).

Urbanes Klima und Energiebedarf in Gebäuden

In den vergangenen Jahrzehnten hat sich der Anteil der Bevölkerung, welche in städtischen Gebieten lebt, kontinuierlich vergrößert. Durch die grosse Gebäudedichte wird das Mikroklima in städtischen Gebieten deutlich verändert. Die

Intensität des städtischen Wärmeinseleffekts nimmt mit höheren Gebäudedichten und wachsenden Städten zu. Der Klimakälte- und der Heizwärmebedarf von Gebäuden werden stark vom lokalen Mikroklima um das Gebäude beeinflusst.

Das Ziel dieses Projektes war es, den Einfluss des städtischen Mikroklimas auf den Energiebedarf von Gebäuden zu untersuchen, mit Hilfe von detaillierten Gebäudeenergiesimulationen. Die meisten heute eingesetzten Gebäudesimulationsmodelle wurden für freistehende Gebäude entwickelt und berücksichtigen deshalb die Effekte des städtischen Mikroklimas nicht. Für dieses Projekt wurde ein Gebäudesimulationsmodell so angepasst, dass es das städtische Mikroklima berücksichtigen kann.

Die drei Hauptaspekte des städtischen Mikroklimas sind, geordnet nach deren Wichtigkeit:

- der Strahlungsaustausch zwischen benachbarten Gebäuden;
- der städtische Wärmeinseleffekt;
- der reduzierte konvektive Wärmeübergang infolge kleinerer Windgeschwindigkeiten.

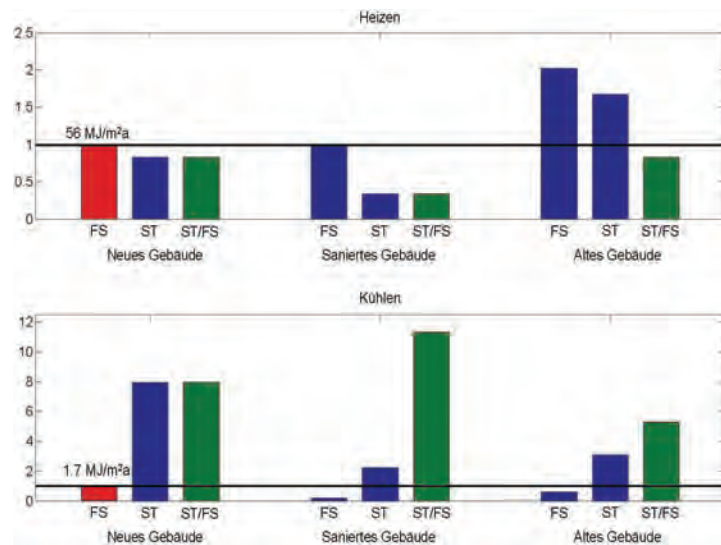
Der solare und langwellige Strahlungsaustausch zwischen benachbarten Gebäuden wurde mit dem im Gebäudesimulationsmodell implementierten Strahlungsaustausch-Modell modelliert. Um dieses für Aussenräume zu verwenden, wurden die Strassenschluchten als Atrien behandelt. Effekte der städtischen Wärmeinsel wurden aus Tagesgängen der umfangreichen Messdatensätzen für

Basel aus dem BUBBLE-Projekt abgeleitet. Der dritte Einfluss des reduzierten konvektiven Wärmeübergangs an den Fassaden wurde in umfangreichen CFD (computational fluid dynamics) Simulationen ermittelt und dann auch mit Messungen im Windkanal validiert.

Im Hauptteil dieses Projektes wurden Simulationen für Büro- und Wohngebäude für das Klima von Basel mit verschiedenen Konfigurationen von freistehenden Gebäuden und Strassenschluchten durchgeführt. Die Resultate zeigen einen starken Einfluss des städtischen Mikroklimas auf den Heiz- und

insbesondere den Klimakältebedarf. Die Änderungen des Energiebedarfs für verschiedene lokale Mikroklimas können in derselben Grössenordnung sein, wie der Energiebedarf für das alleinstehende Gebäude. Dies zeigt die Wichtigkeit auf, das lokale Mikroklima bei der Berechnung des Energiebedarfs zu berücksichtigen.

Abschliessend wurden Gebäudesimulationen für verschiedene Klimata (Madrid, Spanien und New Delhi, Indien) durchgeführt. Der für Basel beobachtete Trend bestätigte sich dabei für die anderen Standorte.



Figur 3: Grafik: Heiz- und Kühlenergiebedarf: FS = freistehendes Gebäude; ST = Stadtsituation). Der Heizenergiebedarf nimmt in der innerstädtischen Situation gegenüber dem alleinstehenden Gebäude ab, je nach Gebäudetyp sogar deutlich. Der Kühlenergiebedarf nimmt in der innerstädtischen Situation gegenüber dem alleinstehenden Gebäude um Faktoren zu, allerdings auf einem gegenüber dem Heizbedarf noch relativ bescheidenen Niveau (max. 4 Wh/m²a) (Quelle: Final Report, Empa/Basler&Hofmann AG, Dezember 2012).

Pilot- und Demonstrationsprojekte

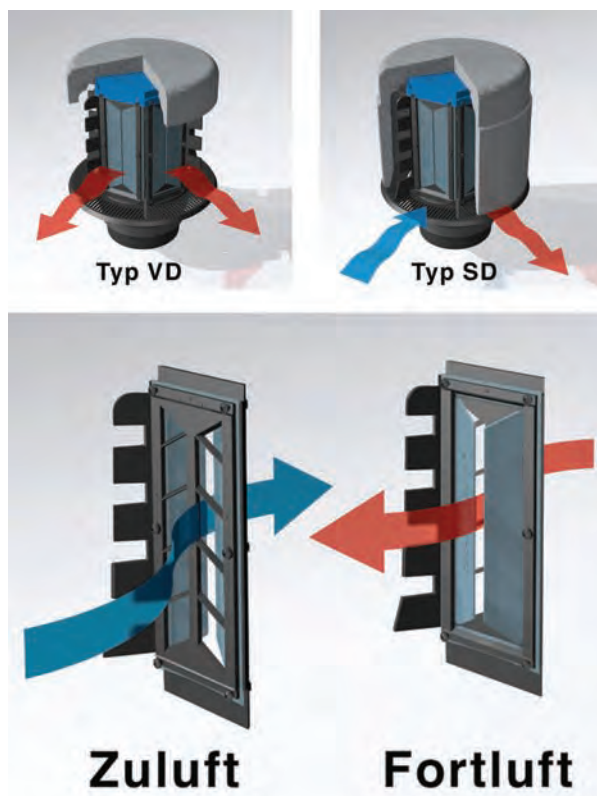
Testinstallationen zu Wärmeverlusten von Funktionsöffnungen

Die Tests mit den Produkten der Firma OEKAG WasserTechnik AG bilden eine Fortsetzung des Forschungsprojektes «Wärmeverlust von Funktionsöffnungen», das 2010 abgeschlossen wurde. Das Forschungsprojekt hatte interessante Resultate aufgezeigt:

• Wärmeverluste über Funktionsöffnungen können bei Minergie Gebäuden 20 % bis 30 % des Heizwärmebedarfs ausmachen.

• Je kompakter das Gebäude, desto grösser der anteilmässige Verlust über die Funktionsöffnungen.

• Selbst bei gering isolierten Gebäuden, die vor 1988 erstellt wurden, können Funktionsöffnungsverluste über 10 % des Heizwärmebedarfs ausmachen.



Figur 4: OEKAG EnergyStop® – Ventile für Funktionsöffnungen vermeiden Wärmeverluste in Lüftungs- und Sanitärrohren. Sie basieren auf einer magnetischen Membranklappe, die bei Nichtverwendung der Funktion eine Luftzirkulation verhindert. Je nach Funktion (Fortluft, Be- und Entlüftung für Sanitärabluft) wird das Membranmodul in unterschiedlicher Richtung eingebaut. Die OEKAG EnergyStop® Ventile befinden sich zur Zeit im Feldtest, sie sind aber auch bereits auf dem Markt erhältlich (Quelle: OEKAG WasserTechnik AG).

Die damalige Arbeit hat sich in verschiedener Hinsicht ausgewirkt: in der nächsten Ausgabe der SIA-Norm 380/1 sollen die Verluste von Funktionsöffnungen systematisch berücksichtigt werden.

Mit den Produkten der Firma OEKAG WasserTechnik AG sind die Resultate in ein Produktedesign eingeflossen. In zwei Pilot- und Demonstrationsprojekten werden die Produkte getestet, die dem

Energieverlust von Funktionsöffnungen entgegenwirken sollen:

- Das Ventil VD wird ausserhalb der Gebäudehülle beim Dachaustritt vertikal bei Fortluftleitungen eingebaut.
- Das Ventil SD wird ebenfalls vertikal bei Sanitärabluftrohren beim Dachaustritt eingebaut.
- Der Dachwasser-Einlauf Typ W wird als Plug In Element in den vorhandenen Dachwassereinlauf eingesetzt.

Das Funktionsprinzip der Ventile ist einfach: aufsteigende Warmluft aus dem Rohrrinneren wird von einer elastischen, magnetischen Membranklappe zurückgehalten, die in der Regel unisolierten Rohrleitungen kühlen weniger aus.

Auf dem Dach des D4 Business Center Luzern in Root werden drei Ventile während eines Jahres getestet. Mittels detaillierten Messkampagnen wird einerseits die Funktionalität, andererseits die energetische Wirkung der Ventile geprüft. Die Projekte werden von Fachleuten der Hochschule Luzern begleitet. Die HSLU war auch an der ursprünglichen Forschungsarbeit über Verluste von Funktionsöffnungen beteiligt.

Nationale Zusammenarbeit

Seit vielen Jahren pflegt das Forschungsprogramm *Energie in Gebäuden* eine enge Zusammenarbeit mit den namhaften Forschungsteams im Tätigkeitsbereich des Programmes. Dies betrifft beispielsweise die Eidgenössisch Technische Hochschule Zürich mit den Forschungsteams von Prof. Dr. L. Guzzella und Prof. Dr. H.J. Leibundgut, an der École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) ist es das Forschungsteam LESO von Prof. Dr. J. L. Scartezzini. Auch mit den Fachhochschulen wurde ein reger Austausch gepflegt: Das Team von Prof. Dr. St. Citherlet, LESBAT von der HEIG-VD in Yverdon, ist an Forschungsprojekten be-

teiligt, eines davon auf dem Gebiet der Gebäudesanierung. Die Fachhochschule Nordwestschweiz (Teams von Prof. A. Binz und Prof. Dr. Th. Afjei) war ebenfalls an mehreren Projekten beteiligt, u. a. zum Thema «Net Zero Energy Buildings». Die langjährige Zusammenarbeit mit der Hochschule Luzern wurde weitergeführt, so z. B. mit dem Zentrum für Integrale Gebäudetechnik (ZIG) von Prof. U.P. Menti, dem CC Typologie & Planung in Architektur von Prof. Dr. Peter Schwehr oder der Abteilung Gebäudetechnik mit Prof. Dr. Heinrich Manz. Schliesslich bestehen auch gute Kontakte zur italienischsprachigen Schweiz, nämlich

zu diversen Forschungsteams an der Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana (SUPSI). Regelmässige Kontakte werden zum nationalen Kompetenznetzwerk Brenet (Building and Renewable Energies Network of Technology, www.brenet.ch) wahrgenommen. Beim Brenet-Statusseminar 2012 und bei der CISBAT-Konferenz 2013 wirkt die Programmleitung auch im technischen Komitee mit.

Eine erfolgreiche Zusammenarbeit besteht mit dem Verein Energie-Cluster (www.energie-cluster.ch) im Rahmen der Innovationsgruppen Plusenergiegebäude. Die Programmleitung vertritt das BFE in der Begleitgruppe des Projekts Use of Weather and Occupancy Forecasts for Optimal Building Climate Control (OptiControl) der ETHZ, Meteo-

Schweiz, der und der Industrie, welches durch Swisselectric Research unterstützt wird.

Zur Sicherstellung der Umsetzung der aus der Forschung gewonnenen Erkenntnisse wird eine enge Zusammenarbeit mit dem Programm EnergieSchweiz gepflegt. Auf Programmebene werden sporadische Kontakte zu KTI, BAFU und Swisselectric Research gepflegt.

Zur Absprache der Forschungsprojekte findet ein reger Austausch mit der Stadt Zürich statt, die in einem ähnlichen Bereich namhafte Unterstützung leistet. Eine weitere Plattform für eine nationale Absprache bilden halbjährlichen Sitzungen mit der Begleitgruppe des Forschungsprogramms, diese wird Anfang 2013 neu besetzt.

Internationale Zusammenarbeit

Die internationale Zusammenarbeit findet hauptsächlich in Form der Beteiligung an den beiden Implementing Agreements «Energy Conservation in Buildings and Community Systems ECBCS» und «Solar Heating and Cooling SHC» der Internationalen Energieagentur (IEA) statt. Als Chair des ECBCS-Agreements und gleichzeitig verantwortlicher Bereichsleiter des BFE verknüpft Andreas Eckmanns die nationale Forschung eng mit den Aktivitäten der IEA. Das halbjährliche Treffen des Executive Committee der ECBCS konnte im Jahre 2012 in Bern durchgeführt werden; im Rahmen eines Technical Day hatten schweizer Forscher die Gelegenheit, ihre Resultate der internationalen Forschergemeinschaft vorzustellen.

Die Beauftragten des Forschungsprogramms *Energie in Gebäuden* sind international gut vernetzt. Die Bereitschaft, in internationalen Forschungsprojekten mitzuwirken, ist gross. Die bisherigen Erfahrungen und der Nutzen dieser Zusammenarbeit für die Schweiz sind im allgemeinen sehr positiv. Das Forschungsprogramm war 2012 in verschiedensten Projekten engagiert:

- SHC Task 41 Solar Energy and Architecture, an welchem die HSLU CCTP und das SUPSI ISAAC-DACD teilnehmen.
- Die FHNW vertritt die Schweiz im kombinierten ECBCS Annex 52/SHC Task 40 «Nullenergie-Gebäude – die nächste Generation Energieeffizienter Bauten».

- Das LESO-PB vertritt die Schweiz im ECBCS Annex 51 «Energy Efficient Communities: Case Studies and Strategic Guidance for Urban Decision Makers».
- Die Firma Econcept und das LESBAT nehmen im ECBCS Annex 56 «Cost Effective Energy and Carbon Emissions and Optimization in Building Renovation» teil.

Das Forschungsprogramm ist im ERA-Net Eracobuild im Rahmen des EU Framework Programme 7 vertreten. Im Rahmen des Eracobuild ERA-Net-Calls «Sustainable Renovation of Buildings» beteiligt sich das Forschungsprogramm an zwei Projekten: INSPIRE «Integrated strategies and policy instruments for retrofitting buildings to reduce primary energy use and GHG emissions» und School vent cool «Ventilation, cooling and strategies for high performance school renovations».

Die EU-Finanzierung für dieses ERA-Net lief im April 2012 aus. Das Netzwerk wird jedoch autonom weitergeführt mit dem Ziel eines strategischen Austausches auf Ebene der nationalen Forschungsförderung. Daraus sollen in Zukunft insbesondere bei EU-Initiativen (Smart Cities, JPI Urban Europe, etc.) gemeinsame Projekteingaben erwachsen.

Referenzen

[1] Rolf Moser, Andreas Eckmanns: Konzept des Forschungsprogramm Energie in Gebäuden 2013–2016, Bundesamt für Energie, September 2012.

Laufende und im Berichtsjahr abgeschlossene Projekte

(* IEA-Klassifikation)

- 4-FAMILIENHAUS B35 IN ZERO-CARBON-LOWEX-TECHNOLOGIE**

P&D 1.2*

Lead:	HSLU	Funding:	BFE
Contact:	Rudolf Furter rudolf.furter@hslu.ch	Period:	2011–2013
Abstract:	Erfolgskontrolle des 4-Familienhaus B35 in Zero-Carbon-lowEx-Technologie.		
- 75 %-AKTIV-SOLARHAUS (OHNE SAISONALE SPEICHERUNG)**

R&D 1.2

Lead:	Stefan und Anna Katharina Mathez	Funding:	BFE
Contact:	Stefan Mathez stevie@solarcampus.ch	Period:	2011–2014
Abstract:	Das ambitionierte 75%-Ziel soll dank modernster Gebäudetechnik, der Nutzung des betonierten Gebäudekerns als Wärmespeicher (ca. 50% der Betonmasse), einer allseits verglasten Fassade, sowie eines durchdachten Solarkonzeptes erreicht werden.		
- AIR-ON, MULTIFUNKTIONALES RAUMLÜFTUNGS- UND KLIMAGERÄT – FELDMESSUNGEN IN MEHRFAMILIENHAUS IN WETZIKON**

R&D 1.2

Lead:	AirOn / HSLU	Funding:	BFE
Contact:	Adrian Peterhans adrian.peterhans@air-on.ch	Period:	2011–2013
Abstract:	Ein neu entwickeltes Einzelraumklimagerät soll im Labor, in einer Musterwohnung eines Sanierungsprojektes und in zwei normal genutzten Wohnungen ausgemessen werden. Mittels Simulationen wird das Gerät auf das Energieeinsparpotenzial in weiteren Situationen überprüft, sowie aufgrund der gemachten Erfahrungen weiter optimiert.		
- AUTOMATIC CONTROL OF AN ELECTROCHROMIC WINDOW**

R&D 1.2

Lead:	EPFL/ENAC/ICARE/LESO-PBX	Funding:	BFE
Contact:	Morel Nicolas nicolas.morel@epfl.ch	Period:	2009–2012
Abstract:	Le but du projet est le développement d'un algorithme de contrôle avancé pour un vitrage électrochromique, tenant compte à la fois d'une optimisation énergétique par rapport aux gains solaires directs et du confort (visuel et thermique) des utilisateurs.		
- COP5 – SOURCE FROIDE SOLAIRE POUR POMPE À CHALEUR AVEC UN COP ANNUEL DE 5 GÉNÉRALISABLE DANS LE NEUF ET LA RÉNOVATION**

R&D 1.2

Lead:	Université de Genève	Funding:	BFE
Contact:	Mermoud Floriane floriane.mermoud@unige.ch	Period:	2009–2012
Abstract:	Ce projet étudie le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire à partir d'une installation solaire (capteurs solaires non couverts) utilisée hors ensoleillement comme absorbeurs sur air pour une pompe à chaleur, dans le but est d'atteindre un COP global annuel de 5.		
- ENERGY EFFICIENT COMMUNITIES: CASE STUDIES AND STRATEGIC GUIDANCE FOR URBAN DECISION MAKERS (IEA ECBCS ANNEX 51)**

R&D 1.2

Lead:	EPFL/ENAC/ICARE/LESO-PBX	Funding:	BFE
Contact:	Jerome Kaempf jerome.kaempf@epfl.ch	Period:	2009–2012
Abstract:	Our main aim in this is to disseminate the advances that have and are being made in Switzerland with respect to the planning, design and construction of relatively sustainable urban communities as well as planning and design tools to support these efforts.		
- ERACOBUILD: SCHOOL VENT COOL**

R&D 1.2

Lead:	FHNW/HSLU	Funding:	BFE
Contact:	Kobler René L. rene.kobler@fhnw.ch	Period:	2010–2013
Abstract:	Erarbeiten ganzheitlicher Sanierungsstrategien betreffend das gesamte System «Schulhaus» inklusive Energieversorgung, Lüftung und Kühlung, als auch die thermische Behaglichkeit.		

- **G-BOX POUR LA MESURE IN SITU DES PERFORMANCES ÉNERGÉTIQUES DE FAÇADES TRANSPARENTES ET TRANSLUCIDES** R&D 1.2
- Lead: École d'ingénieurs de Genève / SUPSI Funding: BFE
- Contact: Pahud Daniel daniel.pahud@supsi.ch Period: 2009–2012
- Abstract: Il s'agit de développer un dispositif transportable appelé « g-box » pour la mesure in situ des propriétés thermiques de façades transparentes et translucides et en particulier de leur valeur g.
- **GESAMTERNEUERUNG WOHN- UND SCHULHAUS KRUMMBACH** R&D 1.2
- Lead: Aleaxander Ritz Funding: BFE
- Contact: Mark Zimmermann mark.zimmermann@empa.ch Period: 2011–2012
- Abstract: Das Projekt «Gesamterneuerung Schulhaus Krummbach» ist ein Demonstrationsvorhaben, um die im Rahmen des CCEM-Retrofit Projekts entwickelten vorgefertigten Sanierungslösungen umzusetzen und zu demonstrieren.
- **IEA ECBCS, ANNEX 56 «ENERGY AND GHG OPTIMISED BUILDING RENOVATION»** R&D 1.2
- Lead: econcept AG Funding: BFE
- Contact: Ott Walter walter.ott@econcept.ch Period: 2010–2014
- Abstract: Die Vorbereitungsphase bis Juni 2011 besteht in der Konzeption der methodologie für Subtask A.
- **IEA-TASK 41 «SOLAR ENERGY AND ARCHITECTURE»** R&D 1.2
- Lead: HSLU Technik + Architektur, SUPSI Funding: BFE
- Contact: Ehrbar Doris doris.ehrbar@hslu.ch Period: 2009–2012
- Abstract: Im Rahmen der IEA SHC Task 41 werden Prozesse und Hilfsmittel für Architekten im frühen Entwurfsstadium untersucht, mit dem Ziel, die Integration von solaren Stragien zu fördern.
- **INSPIRE – INTEGRATED STRATEGIES AND POLICY INSTRUMENTS FOR RETROFITTING BUILDINGS TO REDUCE PRIMARY ENERGY USE UND GHG EMISSIONS** R&D 1.2
- Lead: TEP Energy / econsult Funding: BFE
- Contact: Martin Jakob martin.jakob@tep-energy.ch Period: 2010–2013
- Abstract: Die Ziele des Projekts sind Berechnung und Darstellung der spezifischen Primärenergie- und CO₂-Vermeidungskosten und der CO₂-Vermeidungspotenziale für einzelne repräsentative Gebäudetypen und Erneuerungssituationen, sowie das Erarbeiten von kosten- und nutzenoptimalen Strategien und Lösungspfaden, welche zu Leitlinien und Entscheidungsgrundlagen aufbereitet werden.
- **INTEGRATED MULTIFUNCTIONAL GLAZING FOR DYNAMICAL DAYLIGHTING** R&D 1.2
- Lead: EPFL/ENAC/ICARE/LESO-PBX Funding: BFE
- Contact: Schueler Andreas andreas.schueler@epfl.ch Period: 2009–2012
- Abstract: In this project, a novel integrated concept and the development of advanced glazing for dynamical daylighting are studied. The novel glazing will combine the functions of daylighting, glare protection, overheating protection in summer and thermal insulation in winter.
- **KRAFTWERK HAUS IM LÄNDLICHEN RAUM** R&D 1.2
- Lead: Ökozentrum Langenbruck / FHNW Funding: BFE
- Contact: Sattler Michael michael.sattler@oekozentrum.ch Period: 2009–2012
- Abstract: Das Projekt Kraftwerk Haus im ländlichen Raum – Umsetzung von Biomasse Wärme-Kraft-Anlagen und Strom-Lastmanagement hat zum Ziel, den ersten Schritt in der sukzessiven Transformation des Gebäudes vom reinen Energiebezüger zum Energielieferanten, zum Kraftwerk Haus, in der Praxis zu erproben und zu erforschen.

R&D	1.2
-----	-----

Period: 2011–2014

Abstract: Beschreibung von erfolgreichen Massnahmen zur Verbrauchsreduktion bei der Mieterschaft, insbesondere Anreizmodelle durch Verbrauchsinformation und detaillierte Energieabrechnung. Aufzeigen von rechtl. Einflüssen und Hindernissen bei der Bewirtschaftung von vermieteten MFH. Untersuchung zur Einbindung des Elektroautos in das System «Gebäude».

P&D	1.2
-----	-----

Period: 2009–2012

Abstract: Das Ziel dieses Projektes ist darum die Entwicklung neuer Algorithmen für das optimale Management von Energie- und Stoffflüssen in Gebäuden. Die Neue Monte Rosa-Hütte wird als Demonstrationsobjekt verwendet, wobei das Hauptziel eine möglichst hohe Energieautarkie ist.

R&D	1.2
-----	-----

Period: 2009–2012

Abstract: The aim of this project is to evaluate and to further develop sustainable renovation technologies for historical buildings (end 19th – beginning 20th century).

R&D	1.2
-----	-----

Period: 2009–2013

Abstract: Ziel des Projektes ist es einen Standard für Nullenergie- Gebäude festzulegen. Da der Begriff Nullenergie-Gebäude momentan nicht klar definiert ist, müssen eindeutige Definitionen, Anforderungen und Systemgrenzen erarbeitet werden. Optimierung der Gebäudehülle und -technik gehen damit einher.

R&D	1.2
-----	-----

Period: 2010–2012

Abstract: The objectives of Phase II of the MemProDEC Project are to demonstrate that an open absorption system combined with indirect evaporative cooling and limited chemical storage, can be advantageously operated as an autonomous Air Handling Unit without need of any other refrigeration system.

R&D	1.2
-----	-----

Period: 2011–2014

Abstract: Ce projet vise à promouvoir la rénovation à hautes performances environnementales en ne tenant pas uniquement compte de l'énergie consommée, mais en ayant une vision plus globale en utilisant une approche par écobilan. Cette approche permet d'avoir une vision globale des impacts environnementaux d'un bâtiment rénové en tenant compte de l'énergie consommée, des matériaux de construction utilisés des installations techniques.

R&D	1.2
-----	-----

Period: 2010–2012

Abstract: Die Energiebilanz des denkmalgeschützten Gebäudes aus dem Jahr 1877 konnte dank der verputzten Aerogel-Hochleistungswärmedämmung unter Wahrung des Erscheinungsbildes stark verbessert werden.

● **SOLARE PLUS-ENERGIE SANIERUNG**

R&D 1.2

Lead:	Karin und Martin Stahl	Funding:	BFE
Contact:	Peter Dransfeld dransfeld@dransfeld.ch	Period:	2011–2013
Abstract:	Sanierung eines EFH von 1963 als bilanziertes Plus-Energiehaus unter Berücksichtigung des Haushaltsstromes, der Grauen Energie, und der Mobilität gem. SIA 2040		

● **SWISSWOODHOUSE – EIN GEBÄUDE FÜR DIE 2000-WATT-GESELLSCHAFT**

P&D 1.2

Lead:	Renggli AG	Funding:	BFE
Contact:	Renggli Max max.renggli@renggli-haus.ch	Period:	2009–2012
Abstract:	Swisswoodhouse ist ein mehrgeschossiges Gebäude, welches an zukünftige Wohnformen angepasst werden kann. Es vereint verschiedene Materialien wie Holz, Stahl und Beton um damit das beste Material für die jeweilige Aufgabe einzusetzen. Durch den hohen Vorfertigungsgrad für die Bauhülle und Gebäudetechnik soll das Produkt, trotz den hohen Anforderungen, wirtschaftlich sein.		

● **URBAN CLIMATE AND ENERGY DEMAND IN BUILDINGS**

R&D 1.2

Lead:	Empa Dübendorf	Funding:	BFE
Contact:	Dorer Viktor viktor.dorer@empa.ch	Period:	2009–2012
Abstract:	The project deals with the modelling of urban microclimate in street canyons and urban neighbourhoods taking into account combined effects of wind and solar radiation.		

● **AKTIVA KÜHLEN ÜBER THERMISCH AKTIVIERTE AUSSENFLÄCHEN**

R&D 1.2

Lead:	Fachhochschule Nordwestschweiz	Funding:	BFE
Contact:	Thomas Afjei thomas.afjei@fhnw.ch	Period:	2012–2015
Abstract:	Aktivierte Aussenflächen ersetzen Teile der konventionellen Gebäudehülle und fungieren als multifunktionale Komponenten zur Wärme- und Kälteerzeugung. Im Projekt AKTIVA werden Komponenten entwickelt, die sich speziell für den Kühlbetrieb eignen. Dazu werden abgestimmte hydraulische Schaltungen erarbeitet. Die Komponenten werden zunächst im Labormassstab getestet und im Anschluss in einem Feldtest vermessen.		

● **ÖKOBILANZDATEN FÜR LÜFTUNG- UND WÄRMEANLAGEN**

R&D 1.2

Lead:	büro für umweltchemie	Funding:	BFE+AHB Zürich
Contact:	Ueli Kasser u.kasser@umweltchemie.ch	Period:	2012–2013
Abstract:	Im Projekt werden die Ökobilanzdaten von Lüftungsanlagen (Basis: 10 Gebäude) und von Heizungsanlagen (Basis: 5 Gebäude) ermittelt. Die Daten werden anschliessend aufbereitet für die Darstellung auf der KBOB-Liste und für ecoinvent.		

● **AEROGELS FROM SODIUM SILICATE: TOWARDS COST-EFFECTIVE MASS PRODUCTION TECHNOLOGIES**

R&D 1.2

Lead:	Empa Dübendorf	Funding:	BFE+ EuFP7
Contact:	Matthias Koebel matthias.koebel@empa.ch	Period:	2012–2015
Abstract:	This proposal outlines a concept that is likely to bring aerogel technology towards cost-effective mass production by developing a route for obtaining monolithic aerogels from sodium silicate (water glass) solutions using ambient pressure drying processes. A major challenge in this endeavour is that sodium silicate gels tend to be more fragile than those made from silicon alkoxide precursors.		

● **TIEFE KOAXIAL-ERDSONDE**

R&D 1.2

Lead:	ETH Zürich	Funding:	BFE
Contact:	Leibundgut Hansjürg leibundgut@hbt.arch.ethz.ch	Period:	2012–2013
Abstract:	Es soll der Nachweis der Machbarkeit einer neuen Konstruktionsart einer Koaxial-Erdsonde mit gedämmtem Zentralrohr erbracht werden. Im Vorprojekt werden 3-D-Simulationen durchgeführt und die materialtechnische Machbarkeit soll nachgewiesen werden.		

● **MONITORING EINER THERMISCHEN AREALVERNETZUNG IN KOMBINATION MIT EINEM ERDSONDENFELD** P&D 1.2

Lead:	HSLU	Funding:	BFE
Contact:	Dieter Lüthi dieter.luethi@hslu.ch	Period:	2012–2015

Abstract: Nördlich des Bahnhofs Rotkreuz wird eine Überbauung mit bis zu 2'500 Arbeitsplätzen und Wohnraum für bis zu 1'500 Bewohnern realisiert. Dieses Areal wird mit einer thermischen Arealvernetzung (Anergienetz) in Kombination mit einem Erdsondenfeld ausgerüstet, die im P&D-Projekt untersucht werden.

● **REDIMENSIONNEMENT DES CIRCULATEURS DE CHAUFFAGE, EAU CHAUDE ET FROID** R&D 1.2

Lead:	Bureau d'Etudes Keller-Burnier	Funding:	BFE
Contact:	Lucien Keller lucien.keller@sunrise.ch	Period:	2012–2013

Abstract: Le projet cherche des méthodes pour le redimensionnement des circulateurs autres que ceux qui desservent un groupe indépendant de chauffage. Ce sont donc des pompes de groupe de chauffe-eau, de producteurs de chaleur, de froid et d'autres applications dans grandes bâtiments, qui peuvent être optimisées.

● **ÖKOLOGISCH OPTIMALE DÄMMSTÄRKEN BEI WOHNBAUTEN** R&D 1.2

Lead:	HSLU	Funding:	BFE+AHB Zürich
Contact:	Heinrich Manz heinrich.manz@hslu.ch	Period:	2012–2015

Abstract: Die ökologisch optimalen Dämmstärken bei Wohnbauten sollen – unter Berücksichtigung des gesamten Lebenszykluses eines Gebäudes – hinsichtlich Energie, Treibhausgaspotential und Umweltbelastung sowie in Abhängigkeit von Dämmmaterial, Standort, Heizsystem und Strommix ermittelt werden.

● **TESTINSTALLATION MIT BEGLEITUNTERSUCHUNGEN FÜR OEKAG FLUID CONTROL VENTIL TYP V & S** P&D 1.2

Lead:	OEKAG	Funding:	BFE
Contact:	Giorgio C. Morandini info@oekag.com	Period:	2012–2013

Abstract: Die untersuchten, neuartigen Ventile vermeiden die Wärmeverluste von Funktionsöffnungen. Mit der Installation unterschiedlicher Ventiltypen für Fortluftkanäle und Fallstrangentlüftungen auf einem grösseren Gebäude soll die Funktionstüchtigkeit unter realistischen Umwelteinflüssen überprüft werden.

● **HYDROMECHANISCHE PRODUKTOPTIMIERUNGEN UND TESTINSTALLATION FÜR OEKAG ENERGYSTOP® VENTIL TYP W (DACHWASSERABLAUF MIT ENERGIEVERLUSTBREMSE)** P&D 1.2

Lead:	OEKAG	Funding:	BFE
Contact:	Giorgio C. Morandini info@oekag.com	Period:	2012–2013

Abstract: Die untersuchten Ventile vermeiden die Wärmeverluste von Funktionsöffnungen. Im zweiten Pilotprojekt wird ein neuartiger Dachwassereinlauf untersucht.

● **PLUSENERGIE-MFH MIT PRODUKTIONSOPTIMIERTEM VERBRAUCH** P&D 1.2

Lead:	Markus Portmann	Funding:	BFE
Contact:	Markus Portmann markus.portmann@e4plus.ch	Period:	2012–2015

Abstract: Im Projekt soll aufgezeigt werden, wie mittels intelligenter Stromversorgung und intelligentem Stromverbrauch ein hoher Anteil des Bedarfs mit der gebäudeeigenen PV-Anlage gedeckt werden kann. Dazu werden die Betriebszeiten der Verbraucher optimiert und auf die Produktion abgestimmt.



Martin Pulfer

Verkehr & Akkumulatoren



Hybrid-Bus der Carrosserie Hess AG

Ein aus einem BFE-Energieforschungsprojekt hervorgegangener Hybridbus der Carrosserie Hess AG holt Teilnehmer der Eidg. Energieforschungskonferenz vor dem Bundeshaus ab (Quelle: Carrosserie Hess AG).

Einleitung

Der Verkehr ist mit 36,5 % des Gesamtbedarfs der grösste Energieverbraucher in der Schweiz. Von 1997 bis 2008 ist der Gesamtenergiebedarf der Schweiz um gut 10 %, derjenige des Verkehrs aber um 15 % gestiegen. Die Gründe für die Zunahme des Verbrauchs im Verkehrsbereich sind:

- die steigende Bevölkerungszahl;
- das Anwachsen des Anteils der das Automobil nutzenden Bevölkerung;
- die steigende Motorisierung und der Trend zu schwereren Personenwagen;
- die steigende Verkehrsleistung bei praktisch allen Verkehrsmitteln;
- die vermehrte Staubildung;
- die verlängerte Freizeit und dadurch der erhöhte Freizeitverkehr.

Der Hauptverbraucher im Verkehr ist das Automobil. Dieses wird von der Industrie bezüglich Verbrauch, Emissionen, Sicherheit und auch Komfort laufend und teilweise massiv verbessert. Diese Zielgrössen sind jedoch stark konkurrenzierend. Gleichzeitig neigen Autokäufer immer noch zu leistungsstärkeren, grösseren und schwereren Fahrzeugen und/oder die Käufer werden mit der Werbung und der Beratung in ihrem

Kaufverhalten beeinflusst. Teilweise konjunkturell bedingt, aber auch durch die Anstrengungen der Automobilindustrie (Verbrauchsvorschriften der EU und der Schweiz), wurde dieser Trend seit 2008 gebrochen und der mittlere Verbrauch der Neuflotte sank in den vergangenen Jahren von 8,4 l/100 km im Jahr 2000 auf 6,39 l/100 km im Jahr 2011.

Der Verkehr ist im Vergleich zu den anderen Verbrauchergruppen der grösste Energieverbraucher und weist ein riesiges Einsparpotenzial auf. Eine Verbesserung / Innovation bei der Fahrzeugtechnik setzt sich relativ rasch, innerhalb von 10 bis 20 Jahren, auf die gesamte Fahrzeugflotte durch (Lebenszyklus Auto). Schweizer Forschungs- und Entwicklungsteams arbeiten an der Weltspitze mit und setzen markante Meilensteine. Diese Teams können wegen dem Fehlen einer eigenen Autoindustrie freier arbeiten und eigene Wege beschreiten.

In der Schweiz setzt der Verkehr pro Jahr ca. 6 Mio. Tonnen Erdölprodukte ab. Dies entspricht einem Importwert von rund 6 Mrd. CHF. Der Wirkungsgrad im Verkehr liegt bei bescheidenen 20 %. Eine Wirkungsgradverbesserung von nur 10 % würde die Handelsbilanz der Schweiz um 600 Mio. CHF verbessern. Eine weitere Verbrauchsreduktion

in der gleichen Grössenordnung könnte durch ein konsequentes Fahrverhalten im «Eco-Drive-Fahrstil» erreicht werden.

Die Reduktion der Fahrzeugmassen besitzt durch den «Schneeballeffekt» eine gute Hebelwirkung: Ein leichteres Fahrzeug benötigt einen leichteren, leistungsärmeren Motor, leichtere Bremsen, leichtere Reifen, etc.

Die Kapazität des Schweizer Strassennetzes stösst an ihre Grenzen. Energieverpuffende Staus sind eine der ungeliebten Folgen. Damit verbunden sind immense externe Kosten.

Die Schweizer Industrie beschäftigt aktuell ca. 34'000 Personen in der Autozulieferindustrie und erzielt einen Jahresumsatz von ca. 16 Mrd. CHF. Dazu ist die ebenfalls unterstützte Industrie «Öffentlicher Verkehr» zu zählen, die einen geschätzten Umsatz von ca. 2 Mrd. CHF erzielt und ungefähr 1'200 Mitarbeitende beschäftigt (z. B. bei Carrosserie Hess und Stadler Rail).

Die Schweiz, die keinen Automobilhersteller beheimatet, verfügt dank dem Automobilsalon in Genf ein sehr gutes Schaufenster und wird von der Automobilindustrie auch als wichtiger Testmarkt angesehen.

IEA Klassifikation: 1.3 Transport

Schweizer Klassifikation: 1.2 Verkehr

Programmschwerpunkte

Das Forschungsprogramm *Verkehr* untersucht Ansätze und Massnahmen zur Absenkung des Energieverbrauchs, insbesondere beim Hauptverbraucher, dem motorisierten Individualverkehr. Dadurch soll der Energieverbrauch und generell die Umweltbelastung abgesenkt sowie der Industrie- und Bildungsstandort Schweiz gestärkt werden. Eine Verringerung des Energieverbrauchs beim Individualverkehr wird vor allem mit folgenden Ansätzen angestrebt:

- Leichtbau von Fahrzeugen;
- hoch effiziente Antriebssysteme;
- kleine Verkehrssysteme (z. B. E-Bikes).

Das Forschungsprogramm verfolgt als Hauptziel die längerfristige Absenkung des Energieverbrauchs des Verkehrs gemäss der Nachhaltigkeitsstrategie des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK). Die Hauptziele lauten:

- Energiebedarf und CO₂-Emissionen der Transportmittel für den motorisierten Individualverkehr (MIV) senken;
- CO₂-Emissionen reduzieren durch Transportmittel mit alternativen Treibstoffen und/oder höherer Effizienz und der Verlagerung zu kleineren Transportsystemen oder dem öffentlichen Verkehr;

- die Graue Energie des Systems «Verkehr» senken;
- eine Diversifizierung der Energieträger, welche die Abhängigkeit vom Erdöl vermindert, die Reichweite desselben verlängert und die Versorgungssicherheit gewährleistet.

Weiter sollen generell sämtliche Emissionen des motorisierten Individualverkehrs (MIV) gesenkt, die Sicherheit trotz reduzierter Fahrzeugmasse verbessert, der Raumbedarf des MIV verringert, sowie der Industrie- und Bildungsstandort Schweiz gestärkt werden.

Das Forschungsprogramm *Akkumulatoren* verfolgt folgende Forschungsschwerpunkte: Möglichkeiten zur verbesserten elektrochemischen und elektrostatischen Energiespeicherung. Der aktuelle Fokus liegt bei der Zebra-Batterie, einem seit 1999 in der Schweiz entwickelten Akkusystem mit sehr hoher Energiedichte, nahe der Marktreife und einem weiterhin vorhandenen grossen Verbesserungspotenzial. Der Grund für diese Fokussierung liegt darin, dass die Schweiz neben diesem System nur über eine sehr kleine Industrie für Lithium-Akkumulatoren verfügt – dem Hauptthema in der Akkuforschung.

Ausblick

Im Jahr 2013 werden einige spannende Projekte abgeschlossen, die wegweisende und aufschlussreiche Resultate erhoffen lassen:

- *Cohyb*: ein hocheffizientes, ideal dargestelltes hybrides Antriebskonzept mit minimalen CO₂-Emissionen.
- *Ahead*: das Busprojekt verbessert nachhaltig den Energieverbrauch im öffentlichen Verkehr und zeigt gleichzeitig kostenoptimale Lösungen auf.
- *E-Scooters*: E-Scooter bewähren sich u.A. bei der Post im Alltag und sparen massiv Energie.
- *Statusbericht Akkumulatoren*: Eine Darstellung der globalen Forschungsbemühungen zu Energiespeicher.

Highlights aus Forschung und Entwicklung

Hybridbus AHEAD [10]

Das vom BFE unterstützte Projekt *AHEAD-BH 12m* befasst sich mit der Umsetzung der Forschung aus dem KTI-Projekt *AHEAD*. In einem Stadtbuss mit seriellem elektrischem Hybridantrieb implementiert die Carrosserie Hess AG zusammen mit der ETHZ ein neues Energiemanagement mit dem Ziel, den Treibstoffverbrauch gegenüber herkömmlichen Dieselfahrzeugen deutlich zu senken. Das Fahrzeug wurde von der Firma Carrosserie Hess von Grund auf neu entwickelt und wird ab Anfang 2013 auf der Strasse getestet.

Ein weiteres Ziel des Projektes beinhaltet die Erstellung einer Softwarearchitektur, die kurzfristige Parametervariationen erlaubt, um verschiedene Prädiktionsverfahren des Energiemanagements auszutesten und etwaige neue Problemstellungen untersuchen zu können. Im Anschluss an funktionelle Tests und Si-

cherheitsüberprüfungen werden der Bus und insbesondere das Energiemanagement im Linienbetrieb im Hinblick auf die gesetzten Leistungsziele evaluiert.

Carrosserie Hess und die ETHZ arbeiten seit längerem eng zusammen, sodass die verschiedenen Teilaspekte des Projekts meist gemeinsam bearbeitet worden sind. Die wichtigsten vier Eckpunkte werden im Folgenden kurz beschrieben:

(1) Bei herkömmlichen Dieselfahrzeugen ergeben sich die momentanen Anforderungen an den Dieselmotor direkt aus dem vom Fahrer angefragten Antriebsmoment, da der Dieselmotor über Getriebe und Kupplung direkt mit der Antriebsachse verbunden ist. Bei einem seriellen Hybridfahrzeug sind hingegen der elektrische Antriebsmotor und der Dieselmotor mechanisch unabhängig, sodass in der Ansteuerung des Dieselmotors ein Freiheitsgrad besteht, mit der Bedingung, dass dem Gesamtsystem zu

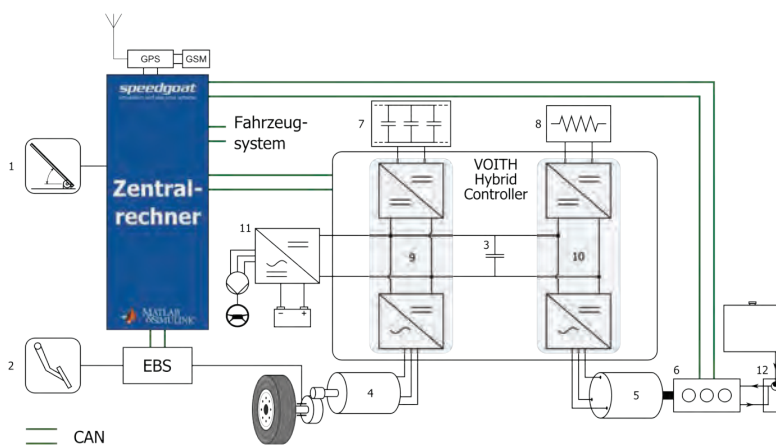
jedem Zeitpunkt genügend elektrische Energie zur Verfügung stehen muss, um die Fahreranforderungen abzudecken. Dies ermöglicht, dass der Dieselmotor vorzugsweise in Regionen mit hohem Wirkungsgrad betrieben und abschnittsweise ganz ausgeschaltet werden kann. Zu diesem Zweck wurden verschiedene Dieselgenerator-Regelungen entwickelt und simuliert, um diese im Anschluss auf dem Prüfstand auf ihre Tauglichkeit zu untersuchen.

(2) Das Energiemanagement bildet zwar den Kern des Fahrprogramms, es muss aber in eine Gesamtarchitektur eingebettet werden. Diese soll die Kommunikation mit den verschiedenen Komponenten des Busses sicherstellen, zuverlässig auf Fehler oder Unsicherheiten reagieren und die Sicherheit des Gesamtsystems garantieren. Dies bedeutet, dass das System an Hand von diversen Messungen auf den Zustand des Busses schliessen, und den dazu passenden Betriebsmodus wählen muss. Diese Architektur wurde anfangs entwerfsmässig aufgrund verschiedener Spezifikationen und Anforderungen erstellt und anschliessend sukzessive ausgearbeitet.

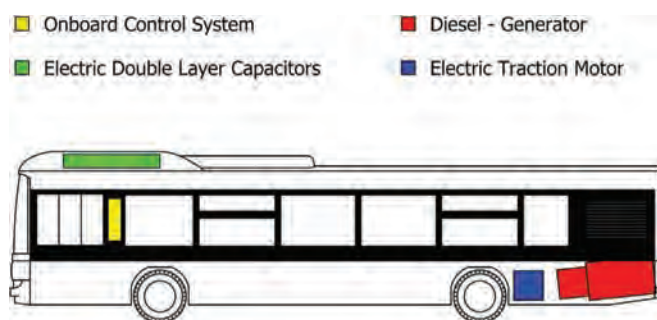
(3) Um die Funktionalität und das Zusammenspiel von Antriebsstrang und Software auszutesten, steht beim Lieferanten der elektrischen Komponenten ein Prüfstand zur Verfügung. Auf diesem konnte die Kommunikation zwischen dem Zentralrechner mit dem Controller der Umrichter auf der einen und dem Dieselmotor auf der anderen Seite, erprobt werden. In einem weiteren Schritt wurde das Verhalten des Gesamtsystems für verschiedene Fahrzyklen betrachtet und gegebenenfalls angepasst. Zudem konnten die vorgängig erstellten Modelle verifiziert werden. Die Daten, die während den Fahrversuchen gesammelt werden, müssen für die Auswertung rasch ausgelesen und aufbereitet werden.

(4) Ende 2012 wurde der Bus fertiggestellt und es wurden erste Fahrversuche unternommen.

Für das erste Halbjahr 2013 sind einerseits Testfahrten geplant, um den reibungslosen Fahrbetrieb gewährleisten zu können, andererseits sind in einem späteren Zeitpunkt Fahrten auf einer Linie vorgesehen, bei welchen dann auch



Figur 1: AHEAD Systemarchitektur.



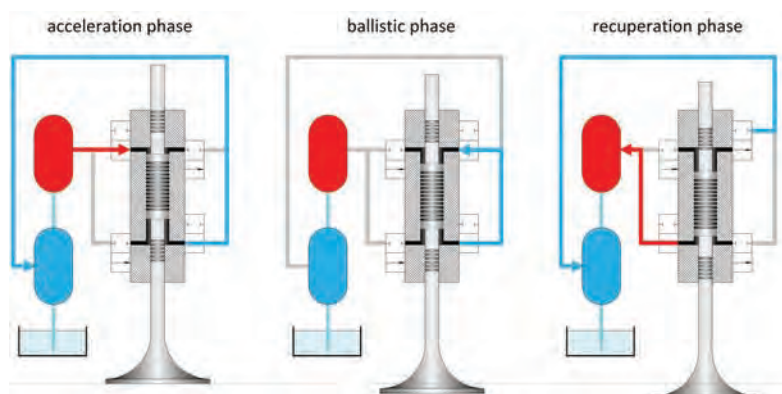
Figur 2: AHEAD: Prinzipieller Aufbau der Antriebseinheit – die Position der Ultrakondensatoren verbessern die Masseverteilung im Fahrzeug.

Personen befördert werden sollen. Des Weiteren werden diverse Peripherie-Anwendungen implementiert, wie z. B. das Auslesen von Fehlerspeichern über das Mobilfunknetz oder Prädiktion mittels GPS-Daten.

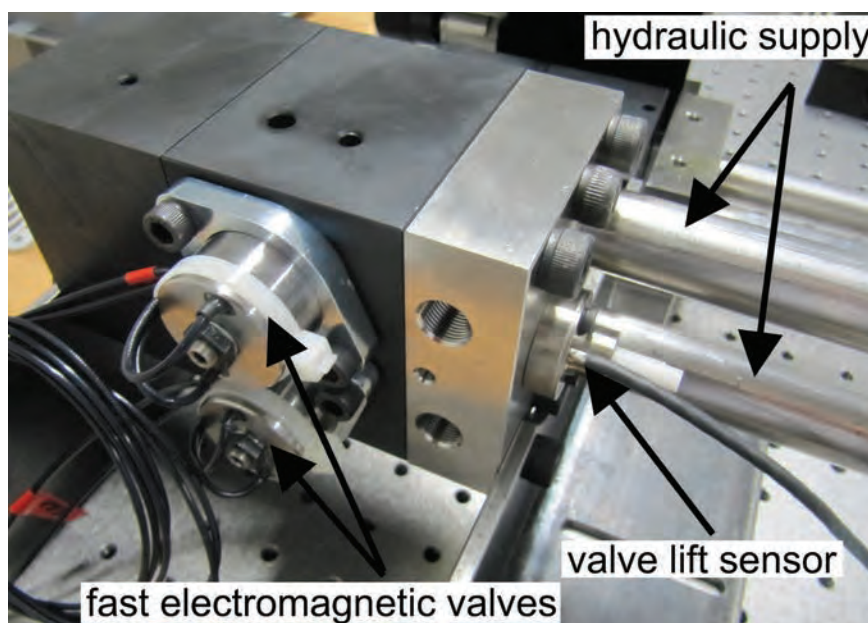
Efficient fully variable valve actuation [8]

Im Gegensatz zu den konventionellen, nockenwellengesteuerten Einlass- und Auslassventilen bei Verbrennungsmotoren, welche beschränkte Flexibilität zur gezielten Beeinflussung des Gaswechsels bieten, ermöglichen flexibel betätigbare Gaswechselventile Vorteile bezüglich Wirkungsgrad und Schadstoffemissionen. Das Projekt *Efficient fully variable valve actuation* (EVA) der Empa setzt sich zum Ziel, einen solchen voll flexiblen, hydraulisch betätigten Ventiltrieb in einer ersten Phase mittels Simulation detailliert auszulegen und diesen in einer zweiten Phase in einem Funktionsmuster umzusetzen. Die erste Phase (Simulation, Auslegung) wurde im Verlauf des Berichtjahres abgeschlossen und der Aufbau eines Funktionsmusters (2. Projektphase) wurde begonnen.

Eine Schlüsselkomponente hydraulischer Ventilsteuerungen sind extrem schnell schaltende Magnetventile (Schaltzeiten deutlich unter 1 ms). Für das EVA-System müssen diese Ventile zudem noch für beide Strömungsrichtungen bis zu einige hundert bar druckfest sein. Die Evaluation hat gezeigt, dass keine solchen Magnetventile kommerziell verfügbar sind. Es konnte aber ein Hersteller gefunden werden, welcher bereit war, für das Projekt speziell schnelle und druckfeste Ventile als Funktionsmuster zu fertigen. Mit diesen Magnetventilen wurde ein hydraulisches Gesamtsystem konstruiert, ausgelegt und gefertigt. Zudem wurde ein ausreichend leistungsfähiges Steuer- und Regelungssystem aufgebaut. Das Gesamtsystem befindet sich Ende 2012 in der Aufbauphase und wird im Jahr 2013 zur Funktion gebracht.



Figur 3: Das System funktioniert mit zwei unterschiedlichen Druckniveaus (blau: tieferer Druck, rot: höherer Druck) und kann dadurch die im Gas gespeicherte Energie hydraulisch rekuperieren.

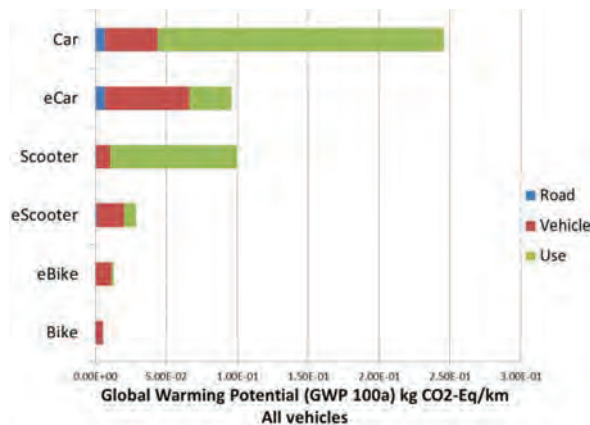


Figur 4: Aufgebautes Funktionsmuster des Ventiltriebes zum Nachweis der Funktion und zur Validierung der Simulationsergebnisse.

E-Scooters

Das interdisziplinäre Forschungsprojekt *E-Scooter* der Uni Bern, der Empa und von NewRide hat zum Ziel, einen Beitrag zur technischen Weiterentwicklung von Scootern mit elektrischem Antrieb (E-Scooter) zu leisten, die Markteinführung dieser neuen Fahrzeuge wissenschaftsseitig zu unterstützen und ihre Auswirkungen auf Energie, Umwelt und Mobilitätsverhalten zu analysieren. Eine Analyse der globalen Marktentwicklung zeigt, dass bedeutende Scooter-

Hersteller wie BMW, Peugeot, Yamaha und SYM E-Scooter an weltweiten Ausstellungen entsprechende Modelle präsentieren, wenn auch teilweise erst als Prototypen. In der Schweiz geht die Marktentwicklung zurzeit nur zögerlich voran. Eine vergleichende Nischenanalyse zeigt auf, dass zwei Funktionen schwach ausgeprägt sind, die für eine Verbreitung dieser Fahrzeuge wichtig wären: eine «Orientierungshilfe für die Lösungssuche» (z. B. erfolgreiche Geschäftsmodelle) und die «Schaffung von Legitimität» (z. B. durch zu lasche Emis-



Figur 5: Das Klimaerwärmungspotenzial verschiedener individueller Verkehrsmittel.

sionsrichtlinien für die herkömmlichen Benzin-Scooter). Eine Untersuchung bei heutigen E-Scooter-Fahrer, welche vormals Motorrad gefahren sind, zeigt, dass folgende Faktoren beim Umstieg vom Motorrad auf den E-Scooter zentral sind: positive Erfahrungen beim Probefahren, Umweltfreundlichkeit, Geräuscharmheit, Gesamtkosten, Entdeckergeist, Flair für Technologie, sowie finanzielle Anreize. Die Evaluation der Sonderschau für E-Scooter an der Swiss-Moto konnte belegen, dass das Probefahren eine wichtige Voraussetzung für die Verbreitung von E-Scooter ist.

Die Inventarisierung von Elektromotoren, Leistungselektronik und Ladegeräten ist

abgeschlossen. Jene von Elektromotoren hat gezeigt, dass sich die Resultate pro Kilogramm Motor sehr ähnlich sind, d. h. dass es zwischen den Motoren keine signifikanten Unterschiede gibt, welche eine Differenzierung in verschiedene Motorentypen erforderlich machen würden. Auch wurde die Leistungselektronik von Elektrofahrzeugen verschiedener Grössenklassen untersucht. Durch Skalierungen konnten verwertbare Datensätze für E-Bikes, E-Scooter und elektrische Motorräder erstellt werden. Die Resultate unterscheiden sich – ähnlich wie bei den Motoren – gewichtsspezifisch nur geringfügig. Die Auswertung der Treibhausgasemissionen (THG-Emis-

sionen) von E-Scooter im Vergleich mit anderen Fahrzeugen zeigt, dass:

- ein Benzin-Scooter drei Mal mehr THG-Emissionen als ein E-Scooter verursacht;
- ein E-Bike nur ein Drittel der THG-Emissionen eines E-Scooter verursacht.

Nebst Treibhausgas-Emissionen wurden auch andere Umweltaspekte für die drei Hauptkategorien Gesundheit, Ökosystem und Ressourcenverbrauch untersucht. Eine Zwischenauswertung der E-Scooter-Nutzerbefragung (N = 42) zeigt, dass hauptsächlich Männer im Alter von durchschnittlich 47 Jahren einen E-Scooter kaufen und diesen vor allem für ihren Arbeitsweg einsetzen. Die Analyse der Tagebucheinträge ergaben folgende Werte für den durchschnittlichen Verbrauch eines E-Scooter in den drei betrachteten Geschwindigkeitsklassen:

- bis 45 km/h: 4 kWh/100 km Strombezug ab Steckdose;
- bis 80 km/h: 6 kWh/100 km Strombezug ab Steckdose;
- >80km/h: 8 kWh/100 km Strombezug ab Steckdose.

Weiter konnte gezeigt werden, dass der Strombedarf eines E-Scooter im Winter nicht signifikant höher ist als im Sommer.

Pilot- und Demonstrationsprojekte

Wasserstoffbetriebenes Kommunalfahrzeug

Im Rahmen des Projekts *hy.muve* (*Hydrogen driven municipal vehicle*, www.empa.ch/hy.muve) wurde ein Monitoringkonzept für das Brennstoffzellenfahrzeug *hy.muve* ausgearbeitet, implementiert und getestet. Die Daten können bei regelmässigem Einsatz des Fahrzeuges zur Beschreibung des Lebensdauerverhaltens des Brennstoffzellensystems und dessen Wirkungsgrades verwendet werden.

Das *hy.muve*-Fahrzeug wurde im Frühling 2011 in Basel mit einem neuem BZ-

System in Betrieb genommen. Aufgrund verschiedener technischer Schwierigkeiten, wurden 2011 nur wenige Tage im Reinigungsbetrieb durchgeführt. Erst 2012 konnte in St. Gallen ein regelmässiger Reinigungsbetrieb ausgeführt werden. 2012 hat das Fahrzeug an 53 Tagen rund 200 h Einsatz geleistet. Insgesamt wurden im Brennstoffzellen-System 126 kg Wasserstoff verstromt. Die Evaluation der Daten zeigt, dass dabei ein sehr guter Wirkungsgrad von über 50 % (LHV) erreicht worden ist.

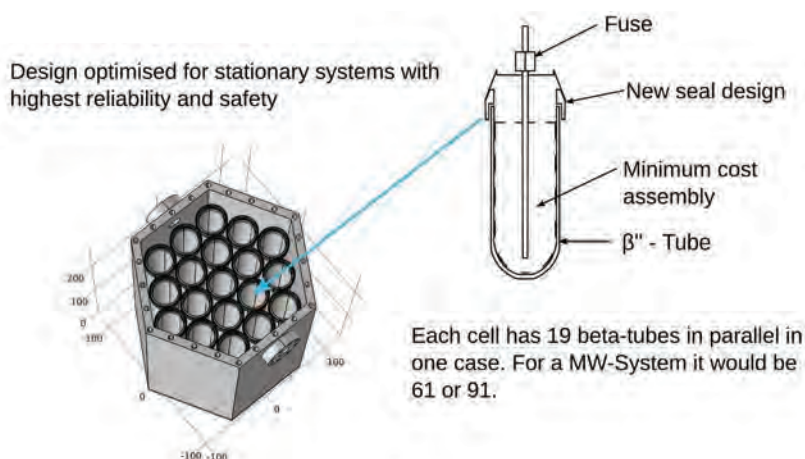
Nebst technischen werden im Projekt auch wirtschaftswissenschaftliche Ziel-

setzungen verfolgt. Erstens wurden Art und Aufwand von intra-organisationalen Lernprozessen im Umgang mit der Wasserstoff-Brennstoffzellentechnologie erhoben sowie geeignete institutionelle Lösungen (z. B. Public Private Partnerships) und Organisationsformen für die Zusammenarbeit bewertet. Kurzfristig relevant ist für die beteiligten Akteure der Aufbau der Fähigkeit, die technologischen, wirtschaftlichen und umweltrelevanten Potenziale richtig einzuschätzen und das notwendige Fachwissen für den Umgang mit der neuen Technologie aufbauen zu können. Zweitens wurde bei Nutzern von Kommunalfahrzeugen

mit einer Online-Umfrage ein Choice-Experiment zu verschiedenen technologischen Ausrüstungen eines Kommunalfahrzeuges durchgeführt. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass in der Schweiz und in Deutschland ein Nischenmarkt für besonders umweltfreundliche Fahrzeuge existiert, wobei die Schweiz aufgrund verschiedener Faktoren sogar zum Leitmarkt werden könnte. Die Betankungspraktiken eignen sich für eine frühzeitige Realisierung einer punktuellen Wasserstoffbetankungsinfrastruktur. Drittens konnte die Methodik des Technologischen Innovationssystem Ansatzes verfeinert werden und für die Erarbeitung einer Roadmap fruchtbar gemacht werden. Diese zeigt konkrete Massnahmen zur Verbesserung der Rahmenbedingungen für die Anwendung der wasserstoffbasierten Brennstoffzelle im mobilen Bereich auf.

Salzbatterie [5]

Die Firma Battery Consult GmbH entwickelt mit finanzieller Unterstützung des BFE eine für die Netzanwendung optimierte Na/NiCl₂-Batterie, die im folgenden als Salzbatterie bezeichnet wird. Die grundsätzliche Chemie dieses Batterietyps ist seit langem unter dem Namen ZEBRA bekannt. Sie wurde bisher für den mobilen Einsatz ausgelegt. Für die stationäre Verwendung spielen Gewicht und Bauraum im Vergleich zu Lebensdauer und Zyklenfestigkeit eine untergeordnete Rolle. Daher wurde ein neues Batteriekonzept als «MultiTube Cell» entwickelt, bei dem mehrere β -



Figur 6: Der prinzipielle Aufbau einer Salzbatterie mit 19 Zellen. Im Gegensatz zur bereits am Markt eingeführten Zebra-Batterie ist das flüssige Natriummetall für alle Zellen in einem einzigen (dem sechseckigen) Stahlbehälter gespeichert.

Keramik Rohre in einem gemeinsamen Anodenraum untergebracht werden. Dadurch lassen sich Dichtungen und Zellgehäuse für jede Einzelzelle einsparen. Neue Konzepte für die Dichtung der β ''-Rohre, den Anodenstromableiter, die Herstellung der Kathode und für eine Sicherung sind in Arbeit. Die Realisierung von Prototypen erfolgt in zwei Schritten: Zuerst werden die neuen Konzepte in Zellen mit nur einem β ''-Rohr getestet. Dann wird die Zielzelle mit 19 β ''-Rohren gebaut um das MultiTube-Konzept zu testen. Im Rahmen dieses Projektes, welches nur den ersten der genannten Schritte umfasst, wurden die Konstruktionen für die Zellen fertiggestellt und die Batterie konzeptionell gestaltet. Ein zentraler Punkt für die zuverlässige und kostenoptimierte Produktion der

Symbol	Einheit	Wert
Leerlaufspannung U_o	V	2,58
Nenn Spannung U_N	V	2,3
Nenn Kapazität C_N	Ah	53
Nenn Energie E_N	Wh	115
Nenn Leistung (2h)	W	57

Tabelle 1: Parameter der ersten Testzelle mit einem β ''-Keramik-Rohr.

Zellen ist die Dichtung. Im Rahmen dieses Projektes wurde eine neue Dichtung konzipiert und getestet. Verschiedene Zelltests wurden durchgeführt, um die Einflüsse einzelner Komponenten und Verfahrensschritte auf die Zellleistung zu bestimmen. Die Kenndaten einer Zelle sind in Tabelle 1 dargestellt.

Nationale Zusammenarbeit

Zwischen verschiedenen Bundesämtern, den Forschungsorganen des ETH-Bereichs, den Fachhochschulen und der Industrie hat sich eine sehr gute Zusammenarbeit und ein reger Informationsaustausch etabliert. Jährlich finden gemeinsam organisierte Tagungen und Ausstellungen statt. Sehr bedeutsam und erfolgreich ist auch die Zusammenarbeit mit den folgenden Umsetzungsorganisationen *NewRide* (mitverantwortlich für starke Verbreitung von E-Bikes in der Schweiz), *e'mobile* (Förderer der elektrischen und hy-

briden Fahrzeuge) und *Gasmobil* (Promotor der Erd- und Biogasfahrzeuge). Mit der Interessensgemeinschaft V2G konnte von 2009 bis 2011 eine nationale Zusammenarbeit und ein Netzwerk von über 50 Teilnehmern aus der Automobil- und Elektronikindustrie, der Energietechnik, den Behörden und weiteren Partnern aufgebaut werden. Die Interessensgemeinschaft wurde im Berichtsjahr im Rahmen EnergieStadt von EnergieSchweiz weiter bearbeitet und umgesetzt.

Internationale Zusammenarbeit

Die Forschungsaufträge und die Zusammenarbeit der ETHZ mit Industriepartnern und Forschungsinstitutionen im automobilen Umfeld manifestieren die hohe Forschungskompetenz der Institute. Diese Zusammenarbeit lässt auch eine raschere Umsetzung der Forschungsergebnisse erhoffen.

Im Bereich Verkehr arbeitet die Schweiz sehr aktiv in den beiden Implementing Agreements HEV (Hybrid- and Electric Vehicles) und AMF (Advanced Motor Fuels) der Internationalen Energieagentur (IEA) mit. Stellvertretend nachfolgend eine tabellarische Zusammenstellung der aktuellen Aktivitäten des IA HEV.

- Task 1, Information Exchange: Collects, analyzes, and disseminates information;
- Task 10, Electrochemical Systems: Forum for current issues in advanced batteries;
- Task 14, Market Deployment of Electric Vehicles: Lessons Learned: Analyzed past EV demonstrations to identify best practices;
- Task 15, Plug-in Hybrid Electric Vehicles: Focuses on how PHEVs can address real market needs;
- Task 17, Vehicle Optimization and System Integration: Studies how EV system configurations could be optimized;
- Task 18, EV Ecosystems: Roadmapping for EV deployments based on emerging best practices;
- Task 19, Life Cycle Assessment of EVs: Explores the sustainable manufacture and recycling of EVs;
- Task 20, Quick Charging: Discusses impacts and potential standards for EV quick charging;
- Task 21, Accelerated Ageing Testing for Li-ion Batteries: Collaboration for Li-ion ageing testing;
- Task 22, E-Mobility Business Models: Understanding the revenue opportunities.

Referenzen

[1] Eidgenössische Energieforschungskommission CORE: Konzept der Energieforschung des Bundes 2008 bis 2011, Bundesamt für Energie, 2007, (www.bfe.admin.ch)

[2] BFE Forschungskonzept Verkehr 2008 - 2011, Bundesamt für Energie 2008, (www.bfe.admin.ch)

[3] BFE Forschungskonzept Akkumulatoren 2008 - 2011, Bundesamt für Energie 2009, (www.bfe.admin.ch)

[4] G. Chevery: TOSA, Transport avec Optimisation du Système d'Alimentation

[5] C. Dustmann: Salzbatte, BFE-Schlussbericht (2012)

[6] C. Pitteloud : Solid polymer electrolytes for lithium batteries, (www.swatchgroup.com)

[7] A. Glatz: Begleitforschung zu Pilotprojekt E-Mobil Ittigen, BFE-Schlussbericht (2012)

[8] P. Soltic: EVA: Energieeffizienter vollvariabler Ventiltrieb, BFE-Jahresbericht (2012), www.Empa.ch

[9] D. Jaggi: LIGHT-TEC I - Leichtbau mit thermoplastischen Composites, BFE-Jahresbericht (2012), (www.esoro.ch)

[10] Ch. Onder: AHEAD-BH 12m, Advanced Hybrid Electric Auto-bus Design, BFE-Jahresbericht (2012), (www.idsc.ethz.ch/)

[11] F. Noembrini, M. Yazdanie: Wirkungsgradkette PW-Antrieb, BFE-Schlussbericht (2012), (www.lav.ethz.ch/)

[12] L. Chapatte, U. Schwegler: Elektro-Nutzfahrzeuge bei Feldschlösschen: Begleitforschung zum Pilotversuch, BFE-Schlussbericht (2012), (www.e-mobile.ch)

[13] P. Walser: IEA Implementing Agreement - Annex XII, BFE-Jahresbericht (2012), (www.e-mobile.ch)

[14] S. Ulli-Beer: Technisch und wirtschaftliche Datenanalyse, BFE-Schlussbericht (2012), (www.psi.ch)

[15] M. Piffaretti: Lampo-Elektrofahrrad, BFE-Schlussbericht (2012), (www.protoscar.com)

[16] THELMA, (www.psi.ch)

[17] P. Oelhafen: Energieverbrauch im Öffentlichen Verkehr: Fahrzeughüllen, BFE-Jahresbericht (2012)

[18] H. Hofmann: E-Scooter: Marktentwicklung, Analyse der Akteure, E-Scooter Technologie, LCA, Verbrauchsmessungen, Auswertung, BFE-Jahresbericht (2012), (www.newride.ch)

Laufende und im Berichtsjahr abgeschlossene Projekte

(* IEA-Klassifikation)

- TOSA, TRANSPORT AVEC OPTIMISATION DU SYSTÈME D'ALIMENTATION**

Lead: ABB, OPI

Contact: Gilles Chevery gilles.chevery@opi.ch

Abstract: In Zusammenarbeit mit den Genfer Verkehrsbetrieben (GTP) und Carrosserie Hess AG erarbeitet ABB einen schnellladefähigen Elektrobus. Dieser soll bereits im Mai 2013 anlässlich der 60. UITP- Weltkongress und Ausstellung Mobility & City Transport in Genf im Liniennetz eingebunden werden.

R&D 1.3*

Funding: BFE	
Period: 2011–2014	
- ENTWICKLUNG EINER KOSTENOPTIMIERTEN SALZ-BATTERIE-ZELLE (ZEBRA) FÜR DIE NETZANWENDUNG**

Lead: Battery Consult

Contact: Dustmann Cord H. cdustmann@bluewin.ch

Abstract: Ziel ist die Entwicklung und der Test einer Prototyp Zelle, die auf der chemischen Basis der ZEBRA Batterie speziell für den stationären Einsatz optimiert ist. Die Lösung ist eine Zelle mit einer wählbaren Anzahl Kathoden und keramischen Elektrolyten, einer gemeinsamen Na-Anode (multitube design) und der einfachen Möglichkeit zur Serienschaltung bis zu einigen kV Spannung.

R&D 6.1

Funding: BFE	
Period: 2011–2012	
- BEGLEITFORSCHUNG ZUM PILOTPROJEKT E-MOBILITÄT ITTIGEN**

Lead: BKW

Contact: Glatzl Andreas Andreas.Glatzl@bkw-fmb.ch

Abstract: Elektrofahrzeuge werden in Ittigen als Firmenfahrzeuge eingesetzt. In der parallel laufenden Begleituntersuchung werden neben den energetischen Daten auch die Akzeptanz bei den Fahrzeugnutzern und den -betreibern erhoben und die Fahrzeugzuverlässigkeit ermittelt.

P&D / R&D 1.3

Funding: BFE	
Period: 2010–2012	
- ENERGIEEFFIZIENTER VOLLVARIABLER VENTILTRIEB**

Lead: Empa / Dübendorf

Contact: Patrik Soltic patrik.soltic@empa.ch

Abstract: Die Empa entwickelt ein hybrides Erdgasfahrzeug mit voll variablem Ventiltrieb. Diese R&D Arbeit setzt folgerichtig das CLEVER Forschungsprojekt fort.

R&D 1.3

Funding: BFE	
Period: 2009–2012	
- LIGHT-TEC I - LEICHTBAU MIT THERMOPLASTISCHEN COMPOSITES**

Lead: Esoro AG / Fällanden

Contact: Jaggi Diego diego.jaggi@esoro.ch

Abstract: LIGHT-TEC-I entwickelt ein Produktionsverfahren für Faserverbund-Materialien, den sogenannten Schmelzprägeprozess, welcher die produktive Herstellung von Leichtbau-Strukturbauteilen zum Ziel hat. Die dabei verwendeten hochfaserverstärkten Thermoplast-Materialien besitzen ein sehr gutes Festigkeits-Gewichts-Verhältnis und können effizient und umweltfreundlich verarbeitet werden. Das übergeordnete Ziel ist die Massereduktion des Fahrzeugs.

R&D 1.3

Funding: BFE	
Period: 2009–2011	
- AHEAD / ADVANCED HYBRID ELECTRIC AUTOBUS DESIGN**

Lead: Carrosserie Hess AG / ETH Zürich / IDSC

Contact: Gisler Hans-Jörg / Onder Christopher info@hess-ag.ch

Abstract: This project aims at optimizing the powertrain of a serial hybrid electric bus for public transportation. Mathematical models and advanced optimization techniques are used to find the optimal component sizes of the powertrain. Further, a predictive energy management strategy that takes into account the altitude profile of the line is implemented. This cuts fuel consumption and CO2 emissions by 25% compared to a conventional bus.

R&D 1.3

Funding: KTI	
Period: 2010–2013	
- COHYB (CUSTOMIZED HYBRID POWERTRAIN)**

Lead: ETH Zürich / IDSC

Contact: Onder Christopher lguzzella@ethz.ch

Abstract: Dieses Projekt ermittelt nutzungsabhängig den optimalen hybriden Antriebsstrang. Am Beispiel eines Antriebs, welcher sowohl als Plug-in Konzept verwendet werden kann (grosse Batterie, gute E-Maschine, kleiner Verbrennungsmotor als „Range-Extender“) als auch als „konventioneller“ batterieladungserhaltender Hybrid betrieben werden kann, sollen die Simulationsergebnisse validiert und Erfahrungen mit optimalen Regelstrategien gewonnen werden.

R&D 1.3

Funding: ETH / BFE	
Period: 2011–2013	

● **WIRKUNGSGRADKETTE PW-ANTRIEB**

R&D 1.3

Lead: ETH Zürich / LAV

Funding: BFE

Contact: Noembrini Fabrizio

noembrini@lav.mavt.ethz.ch

Period: 2009–2011

Abstract: Projektgegenstand ist die Untersuchung unterschiedlicher Fahrzeug-Antriebsarten in Bezug auf ihren Energiebedarf und CO₂-Emissionen mit Berücksichtigung der gesamten Energiekette. Auf dieser Basis werden die Wechselwirkungen mit der Elektrizitätswirtschaft und die Auswirkungen auf die Netze abgebildet. Die Resultate dienen als Grundlage zuhanden der Entscheidungsträger für die Erarbeitung optimaler Strategien für den künftigen MIV.

● **ELEKTRO-NUTZFAHRZEUGE BEI FELDSCHLÖSSCHEN: BEGLEITFORSCHUNG ZUM PILOTVERSUCH**

R&D 1.3

Lead: Feldschlösschen AG / Rheinfelden

Funding: BFE

Contact: Chapatte Laurent

Laurent.Chapatte@fgg.ch

Period: 2009–2012

Abstract: Feldschlösschen AG hat 2009 einen Elektrolastwagen der Marke Modec in Betrieb genommen. 2010 beschaffte die Firma 4 weitere Fahrzeuge, die aber im Gegensatz zum ersten LKW nicht mehr mit Lithium-Ionen-Akkus sondern mit Zebra-Akkus ausgerüstet sind. Das vorliegende Projekt begleitet diesen Versuch wissenschaftlich.

● **LAMPO-ELEKTROFAHRZEUG**

P&D / WTT 1.3

Lead: Protoscar SA / Rovio

Funding: BFE

Contact: Piffaretti Marco

m.piffaretti@protoscar.com

Period: 2011–2012

Abstract: Protoscar SA entwickelt in dieser Projektreihe sportliche Fahrzeuge als Demonstratoren. Diese werden u. A. am Autosalon in Genf präsentiert, können jedoch auch vom Publikum bei andern Anlässen erprobt werden.

● **THELMA: TECHNOLOGY-CENTERED ELECTRIC MOBILITY ASSESSMENT**

R&D 1.3

Lead: Paul Scherrer Institut (PSI)

Funding: ETH / SER

Contact: Hirschberg Stefan

stefan.hirschberg@psi.ch

Period: 2010–2012

Abstract: A system analysis is a prerequisite for understanding the strengths & weaknesses of the options developed, evaluating trade-offs compared to both conventional & other advanced alternatives, & assessing the potential contributions of the technology options. The project addresses automobiles, vans & light trucks. Detailed technology evolution is considered until year 2030 with an outlook until year 2050.

● **E-SCOOTERS: MARKTENTWICKLUNG, ANALYSE DER AKTEURE, E-SCOOTER TECHNOLOGIE, LADESTATIONEN, LCA, VERBRAUCHSMESSUNGEN, AUSWE**

R&D 1.3

Lead: Uni Bern / IKAÖ

Funding: BFE / ASTRA

Contact: Hofmann Heidi

hofmann@ikaoe.unibe.ch

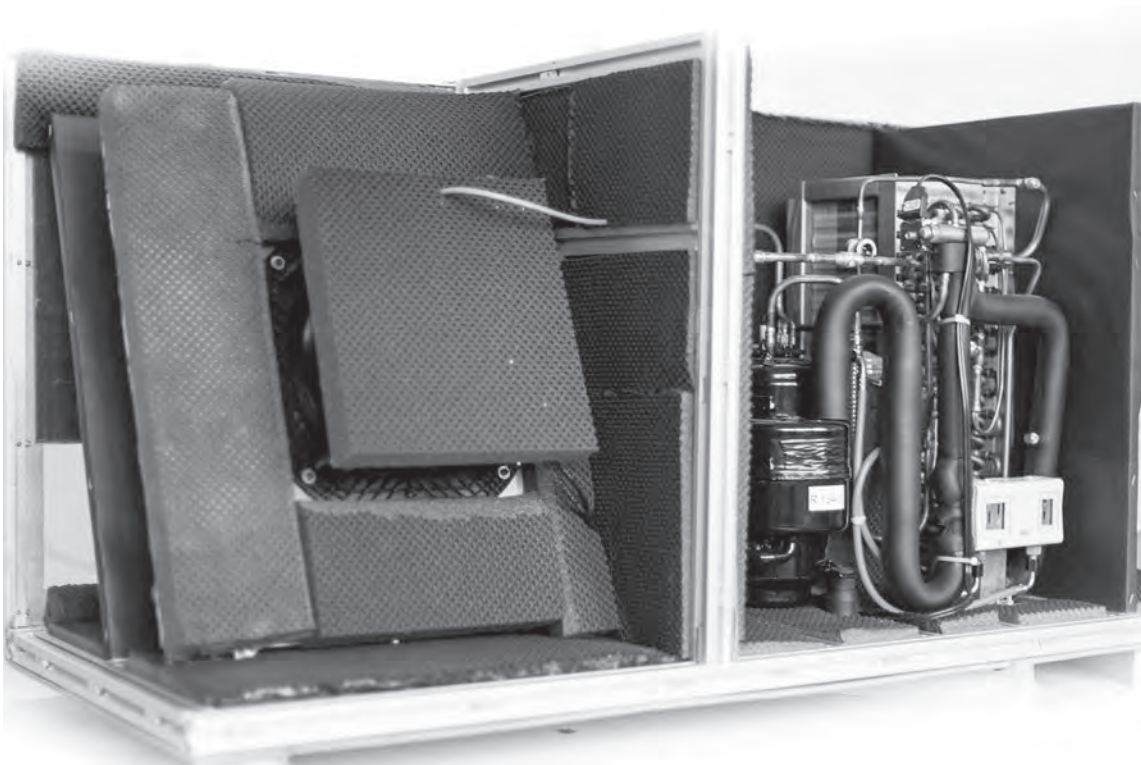
Period: 2009–2013

Abstract: IKAÖ, Empa, PSI und NewRide untersuchen die Möglichkeiten und Voraussetzungen für eine beschleunigte Markteinführung der E-Scooters. Ein wichtiges Grundlagenpapier stellt die Life Cycle Analysis dieser Systeme der Empa dar.



Roland Brüniger

Elektrizitätstechnologien und -anwendungen



Funktionsmuster einer innovativen Einzelraumwärmepumpe

Die Einzelraumwärmepumpe als energieeffizienter Ersatz für Elektrospeicherheizungen weist in der Schweiz, Deutschland und Frankreich ein geschätztes Marktpotenzial von mehr als 20 Millionen Geräten auf. Die technischen Anforderungen sind hoch, soll doch das Gerät bezüglich Gewicht und Dimension einer bestehenden Speicherheizung entsprechen, eine Jahresarbeitszahl von mindestens 3 aufweisen und extrem geräuscharm (Schallleistung < 30 dB) arbeiten. Nur so ist der angepeilte Ersatzmarkt – der Austausch von Speicherheizungen für Ein- und Mehrfamilienhäuser – überhaupt adressierbar. Obwohl wesentliche Leistungsmerkmale mit dem Funktionsmuster erfolgreich erfüllt werden konnten, wurde das Projekt durch den Industriepartner leider abgebrochen. Es ist zu hoffen, dass die Projektidee von einem Hersteller möglichst rasch wieder aufgenommen wird.

Einleitung

Der Bundesrat hat im Herbst 2012 ein erstes Massnahmenpaket für den schrittweisen Umbau der schweizerischen Energieversorgung in die Vernehmlassung geschickt. Damit will er den Energie- und Strombedarf pro Person senken, den Anteil fossiler Energie reduzieren und die nukleare Stromproduktion durch Effizienzgewinne und den Zubau erneuerbarer Energien ersetzen. Im Sommer 2013 wird das Parlament darüber beraten, und unter Einbezug aller Fristen dürfte 2015 das erste Massnahmenpaket der Energiestrategie 2050 in Kraft treten.

Als quantitative Zielsetzung soll neben anderem der durchschnittliche Energiebedarf pro Person und Jahr gegenüber dem Stand im Jahr 2000 bis 2035 um 35 % reduziert werden. Der Gesamtstrombedarf ist ab 2020 zu stabilisieren. Die Steigerung der Effizienz steht als eine der wichtigsten Massnahmen im Vordergrund. Im Elektrizitätsbereich sollen dazu neben anderem die Energieverbrauchsvorschriften für Elektrogeräte und Beleuchtung strenger werden.

Mit dieser Neuausrichtung der Energiepolitik werden auch die zukünftigen Forschungsaktivitäten nachhaltig beeinflusst. So beantragte der Bundesrat zur Umsetzung des «Aktionsplan Koordinierte Energieforschung Schweiz» [1] für die Jahre 2013–2016 insgesamt

202 Millionen Franken zur Stärkung der Forschung und Innovation im Energiebereich. Der Fokus wird verstärkt auf die anwendungsorientierte Energieforschung gelegt. Die wichtigste der sieben identifizierten Stossrichtungen betrifft die Effizienz.

Nachdem im Jahr 2010 in der Schweiz erstmals Verbrauchsvorschriften für Elektrogeräte erlassen wurden, erfolgte bereits nach nur zwei Jahren per Januar 2012 eine erste Verschärfung. Weitere Schritte werden mit dem Fortschritt der technischen Möglichkeiten folgen.

Neben regulatorischen Massnahmen und diversen, in der Schweiz bestehenden und mit dem Massnahmenpaket in Vorbereitung stehenden Anreiz- und Förderinstrumenten für die Erhöhung der Effizienz, sind auch verstärkte Anstrengungen in der Forschung in Richtung neuer und effizienter Technologien unabdingbar. Erst die Verfügbarkeit dieser Technologien erlaubt dem Gesetzgeber wiederum, verschärfende Vorgaben umzusetzen oder entsprechende Fördermassnahmen zu lancieren.

Im Hinblick auf die enormen zukünftigen Herausforderungen ist es entscheidend, mit den verfügbaren finanziellen Mitteln des vorliegenden Forschungsprogramms in denjenigen Bereichen zu forschen, in denen das grösste Effizienzpotenzial steckt. Diesbezügliche Vorabklärungen

und Grundlagenstudien sind deshalb wichtig, um die Forschungsanstrengungen möglichst zielgerichtet und ergebnisorientiert ausrichten zu können. Um diese Ausrichtung kontinuierlich prüfen und gegebenenfalls justieren zu können, hat die Programmleitung in relevanten Fachbereichen sogenannte Trendwatching-Gruppen etabliert, die sich aus anerkannten Fachpersonen aus Wirtschaft, Forschung, Hochschulen und vereinzelt auch Investoren zusammensetzen. In periodischen Treffen werden nationale und internationale Aktivitäten und Trends ausgetauscht und relevante Erkenntnisse fliessen soweit möglich und zweckmässig in zukünftige Forschungsaktivitäten mit ein.

Die im Jahr 2011 neu etablierten Trendwatching-Gruppen «Energieeffizienz von und durch die Informations- und Kommunikationstechnik» und «Thermoelektrik» haben sich zwischenzeitlich bestens bewährt und die durchgeführten Treffen führen zu einem regen Wissensaustausch und neuen Forschungsideen. Bei der etablierten Trendwatching Gruppe «Elektrische Motoren/Antriebssysteme» wird im Jahr 2013 eine Ausweitung des Mitgliederkreises angestrebt. Dasselbe ist auch für das jährliche Statusseminar *Hochtemperatursupraleitung im Energiebereich* angedacht.

IEA Klassifikation: 1.1 Industry, 1.2 Residenzial and commercial, 6.1 Electric power conversion, 6.3 Energy storage

Schweizer Klassifikation: 1.4 Elektrizitätstechnologien und -anwendungen

Programmschwerpunkte

Mit der Thermoelektrik kann Wärme direkt in Elektrizität umgewandelt werden. Da damit insbesondere die bei vielen Prozessen anfallende Abwärme in eine vielseitig nutzbare Energieform gewandelt werden kann, stellt Thermoelektrizität einen wesentlichen Schwerpunkt im Programmbereich «Energiekonversion» dar. Mit der magnetokalorischen Konversion und vor allem mit der Entdeckung des sogenannten «Giant Magnetocaloric Effect» Ende der 1990er Jahre, wurden Hoffnungen auf eine neuartige effiziente Kühltechnik geweckt. Diverse Untersuchungen haben aber zwischenzeitlich aufgezeigt, dass derzeit kein erhebliches Einsparpotenzial erschlossen werden kann. Da dank der Hochtemperatursupraleitung Motoren, Generatoren, Kabel, etc. effizienter betrieben werden können, werden die entsprechenden internationalen Aktivitäten beobachtet und in spezifischen Anwendungen geprüft. Als alternative effiziente Speichertechnologie wurde die Druckluftspeicherung im Rahmen eines Projekts eingehend untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass bis zu einer kommerziellen Nutzung noch ein erheblicher Aufwand betrieben werden muss und diverse technische Aspekte gelöst werden müssen.

Motoren stellen die grösste Verbraucherkategorie dar. Gemeinsam mit der Industrie werden deshalb in diversen Anwendungsgebieten Optimierungen erforscht. Da bei motorischen Anwendungen der Einsatz von Umrichtern oft die Effizienz steigern kann, werden diese verstärkt in die Forschungsaktivitäten einbezogen. Haushaltsgeräte machen ebenfalls einen relevanten Verbrauchsanteil aus, weshalb in diesem Bereich neuartige Technologien erforscht und Optimierungsarbeiten durchgeführt werden. Die Vakuumisolation stellt dazu beispielsweise eine Erfolg versprechende Einspartechnologie dar.

Im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnik werden Grundlagen und Erkenntnisse bezüglich «Smart Metering», «Smart Home» und Effizienzverbesserungen von Kommunikationsendgeräten erarbeitet. Schliesslich werden in Fortführung der internationalen Aktivitäten im Rahmen des IEA Implementing Agreements (IA) 4E Energy Efficient End Use Equipment neues und

bestehendes Wissen zur Energieeffizienz verschiedener elektrischer Geräte aufbereitet und verbreitet.

Rückblick und Bewertung 2012

Unter Einbezug der neuen Energiepolitik wurde für das vorliegende Programm ein strategisches Forschungskonzept für die nächsten vier Jahre ausgearbeitet [2].

Die Ergebnisse eines Druckluftspeicherprojekts fielen ernüchternd aus. Zwar konnte ein Funktionsmuster zum Laufen gebracht werden, andauernde Speicherkzyklen waren aber nicht möglich. Die Beherrschung hoher Drücke ist technisch anspruchsvoll und es sind weitere Anstrengungen bis zu einem allfälligen Technologiedurchbruch erforderlich.

Die Erkenntnisse im Bereich der Vakuumisolation sind nach wie vor Erfolg versprechend. Mit einer Studie sollen neben den bis anhin im Vordergrund stehenden Haushaltsanwendungen neue Anwendungen und Potenziale im industriellen Umfeld identifiziert werden.

Obwohl im Jahr 2012 ein Funktionsmuster einer Einzelraumwärmepumpe als Ersatz von Elektroheizungen entwickelt werden konnte, wurde das Projekt durch den Industriepartner abgebrochen. Bis anhin fanden sich keine Investoren, die bereit gewesen wären, den ebenfalls 2012 entwickelten Prototypen eines Vakuumwäschetrockners zu kommerzialisieren.

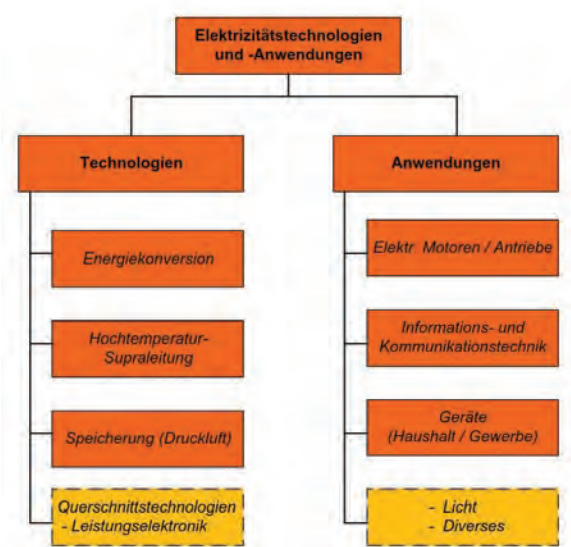
Ausblick

Diverse Publikationen weisen darauf hin, dass eine Gleichstromversorgung im Gebäude effizienter sei als die heutige Wechselstromerschliessung. In einem neuen Projekt wird dieser Frage nachgegangen und entsprechende Antworten werden 2013 vorliegen.

Gemeinsam mit einem namhaften Internet-Provider wird der Prototyp eines 2-Watt-Routers entwickelt. Gelingt dies, würden die heutigen regulatorischen Vorgaben um den Faktor 4 unterschritten, was ein erhebliches Einsparpotenzial bedeutet.

Hocheffiziente Elektromotoren verfügen oft über Magnetmaterial aus seltenen Erden. Da diese Metalle in verschiedener Hinsicht problematisch sind, wird 2013 untersucht, ob der Bau hocheffizienter Motoren unter Verzicht von «seltenen Erden-Magneten» möglich ist.

Im Jahr 2013 stehen Vorbereitungsarbeiten an, um das IEA IA 4E um weitere fünf Jahre zu verlängern. Im Rahmen der vorgesehenen Ausweitung auf weitere Gerätekategorien wird angestrebt, die Thematik des Eigenverbrauchs von «Smart Metering» einzubringen, da diese in einem bi-nationalen Projekt von der Schweiz und Österreich aufgearbeitet wurde und auf internationaler Ebene weiter bearbeitet werden könnte.



Struktur des Forschungsprogramms Elektrizitätstechnologien und -anwendungen.

Highlights aus Forschung und Entwicklung

Einzelraumwärmepumpe als Ersatz von Elektro-speicherheizungen

In einer Studie [3] wurde 2009 das Thema der Elektroheizungen untersucht und es wurden Vorschläge unterbreitet, wie diese langfristig durch energieeffiziente Lösungen ersetzt werden könnten. Einer der interessanten Ansätze war der Ersatz installierter Einzelraumelektrospeicherheizungen durch eine Einzelraumwärmepumpe. Alle Elektroheizungen, welche auf der Innenseite einer Aussenwand installiert sind, könnten gegen eine Einzelraumwärmepumpe ausgetauscht werden. Die Stromversorgung ist bereits vorhanden und in die Gebäudewand müssten eines, ggf. zwei Löcher gebohrt werden, um den Luftaustausch für die Wärmepumpe zu ermöglichen.

In der Schweiz beziehen die rund 300'000 installierten Einzelraumelektrospeicheröfen jährlich etwa 1'000 GWh Strom. Bei einer angestrebten Jahresarbeitszahl (JAZ) einer neuen Einzelraumwärmepumpe von 3 ergibt sich somit ein Energiesparpotenzial von 2/3 des aktuellen Verbrauchs, also rund 660 GWh. Rechnet man Deutschland und Frank-

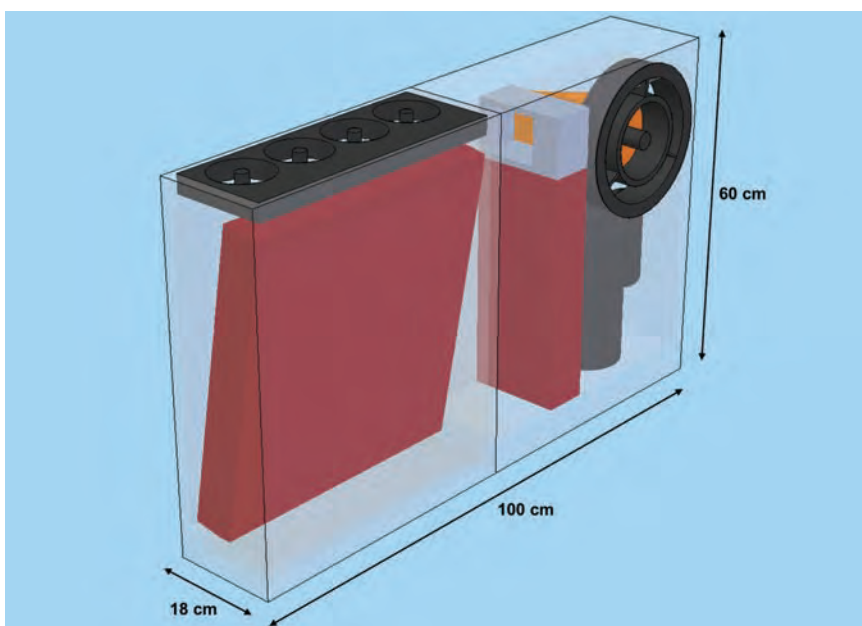
reich dazu, ergibt sich ein hochgerechneter Ersatzmarkt von gegen 20 Millionen Elektrospeicherheizungen.

Bereits in den 1990er Jahren wurde vom BFE das Projekt einer Einzelraumwärmepumpe unterstützt. Das Produkt konnte sich aber leider am Markt nicht durchsetzen. Weitere Anstrengungen wurden in den letzten Jahren unternommen, erneut Firmen im Bereich der Wärmepumpenherstellung für die Idee zu gewinnen, eine Lösung auf den Markt zu bringen. Vor etwa zwei Jahren konnte schliesslich ein Industriepartner für ein neues Projekt [4] gewonnen werden, das mit Enthusiasmus gestartet wurde. Als Projektziele wurden die Anforderungen gestellt, dass die neue Einzelraumwärmepumpe eine Jahresarbeitszahl von mindestens 3 aufweisen muss, extrem geräuscharm arbeitet (Schalleistung < 30 dB), bezüglich Dimensionen und Gewicht einer gängigen Elektrospeicherheizung entspricht, eine thermische Heizleistung von ca. 2 kW aufweist und die Herstellkosten im Bereich von 500 EUR/kW zu liegen kommen.

Auf der Basis dieser Anforderungen wurde ein technisches Konzept für ein Funktionsmuster erarbeitet. Das Gehäuse

wird dabei in zwei Teile aufgeteilt: die Innenluftseite, in der mit Ventilatoren über einen Lamellenwärmetauscher (Kondensator) die Wärme an die Raumluft abgegeben wird, und die Aussenluftseite, in der die restlichen Wärmepumpenkomponenten (Kompressor, Verdampfer, Sammler, Ventile, etc.) angeordnet sind. Hier wird die Aussenluft durch den Wanddurchbruch angesaugt, über einen Lamellenwärmetauscher (Verdampfer) abgekühlt und mit einem Lüfter wieder nach draussen befördert. Um einen tiefen Grundsallpegel und möglichst wenig laute Anfahrzyklen des Kompressors zu generieren, soll ein drehzahlvariabler Kompressor eingesetzt werden. Es wird zudem angestrebt, eine konzentrische Ein- und Ausströmung der Aussenluft zu realisieren, damit nur ein einziger Mauerdurchbruch notwendig wird. Eine Kondensatableitung soll durch die Integration einer beheizten Kondensatableitung im Abluftkanal realisiert werden. Eine Pumpe versprüht Kondensationswasser mit Hilfe einer Versprühdüse. Um der Vereisung der Düse wie auch der Kondensatableitung vorzubeugen, sorgt ein Düsenheizelement sowie ein Heizband an der Kondensatableitung für die nötige Erwärmung. Da der Kondensattransport nur periodisch und nicht kontinuierlich erfolgt und zudem nur bei Ablufttemperaturen unter 0 °C erforderlich ist, kann die Betriebszeit der Heizelemente auf das nötige Minimum beschränkt werden.

Mit dem Bau des Funktionsmusters sollte der Nachweis erbracht werden, dass die restriktiven Schallemissionen und die geforderte Jahresarbeitszahl von 3 erreicht werden können. Beide Anforderungen konnten nach verschiedenen Optimierungsschritten mit dem Funktionsmuster erreicht werden. Trotz dieser sehr ermutigenden Ergebnisse hat sich der Industriepartner leider entschlossen, das Projekt nicht weiter zu verfolgen. Der Aufwand für die Entwicklung eines marktfähigen Produkts wurde als noch beträchtlich eingeschätzt und die Prioritäten innerhalb der Unternehmung wurden auf andere Aktivitäten gelegt. Das BFE ist aber aufgrund der geschätzten Marktgrösse und der bisher erreichten Resultate überzeugt, dass die technischen Hürden gemeistert werden



Figur 1: Schematische Ansicht des Einzelraumwärmepumpen-Konzeptes von hinten mit den wichtigsten Komponenten, Innenluftseite links, Aussenluftseite rechts (Quelle: awtec AG für Technologie und Innovation).



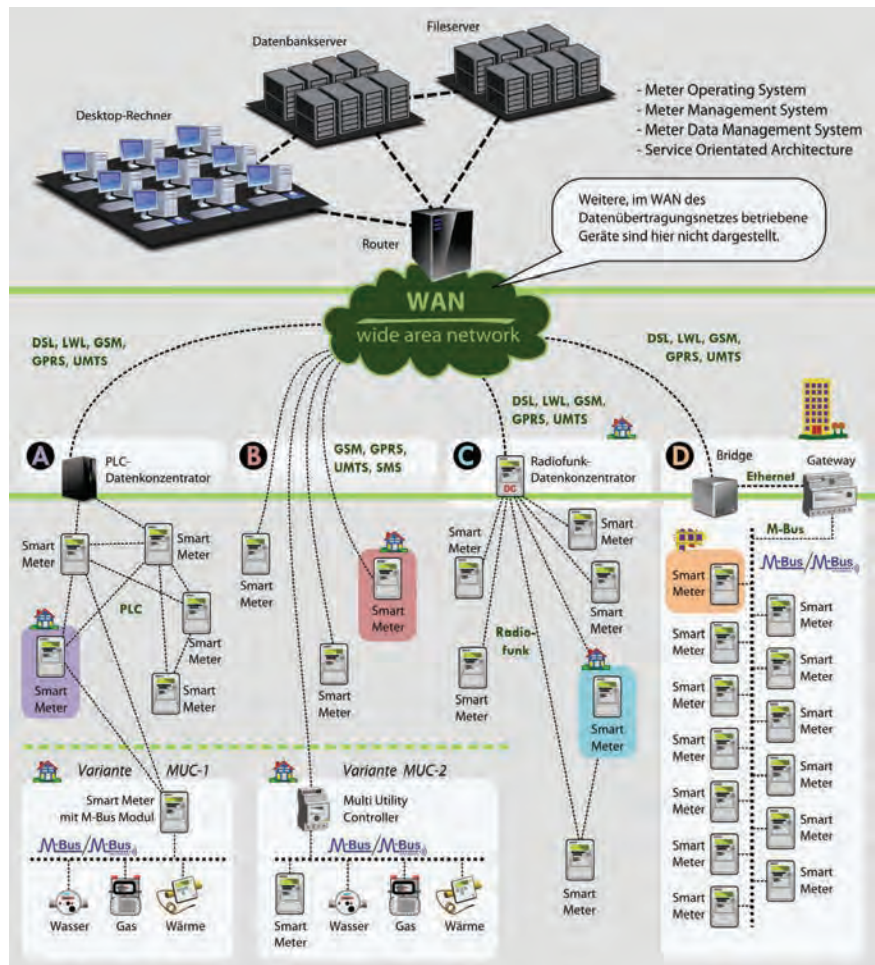
Figur 2: Geschlossenes Funktionsmuster der Einzelraumwärmepumpe (Quelle: awtec AG für Technologie und Innovation).

können und eine Einzelraumwärmepumpe erfolgreich im Markt eingeführt werden kann. Interessierte Hersteller sind deshalb aufgerufen, sich für eine Fortsetzung mit der Programmleitung in Verbindung zu setzen.

Energieeffizienz in der Informations- und Kommunikationstechnik

Unverändert steigt der Energiebedarf von informations- und kommunikationstechnischen Einrichtungen und Geräten. Der zugrundeliegende «Hunger» nach Kommunikation und Informationsdienstleistungen wächst sowohl im privaten als auch im geschäftlichen Bereich. Ebenfalls trägt der Umstand dazu bei, dass sich die Schweiz zunehmend im internationalen Umfeld als «Datentresor» positioniert und dadurch vermehrt energieintensive Rechenzentren gebaut werden. Um konkurrenzfähig bleiben zu können ist die Energieeffizienz denn auch aus wirtschaftlichen Gründen ein Thema.

Das mit dem renommierten «Watt d'Or 2013» ausgezeichnete Rechenzentrum der Green Datacenter AG verfügt über eine Gleichstromverteilung, die Stromersparungen von ungefähr 20 % ermöglicht. Inspiriert durch diesen Erfolg wurde im Jahr 2012 eine Studie gestartet, in der basierend auf der aktuellen Gebäudelandschaft der Schweiz Grundlagen zum Thema «Steigerung der Energieeffizienz mit DC-Netzen im Gebäu-



Figur 3: Darstellung der Kommunikationsalternativen A, B, C und D, auf denen die Hochrechnungen des Eigenverbrauchs der «Smart Metering»-Infrastruktur basieren (Quelle: Ecodesign Company GmbH).

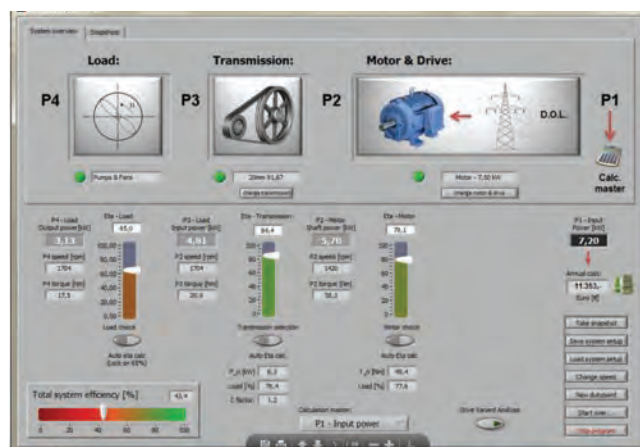
de» [5] zusammengetragen werden. Sie soll aufzeigen, wo die technischen Hemmnisse und Herausforderungen liegen, um auf eine Gleichstromverteilung in Ein- und Mehrfamilienhäusern sowie Geschäftsgebäuden umstellen zu können. Es wird ausserdem untersucht, welche Effizienzgewinne damit verbunden wären.

Sowohl die EU wie auch viele Länder und Regionen haben beschlossen, eine «Smart Metering»-Infrastruktur einzuführen, um die Energieeffizienz prinzipiell zu erhöhen. Eine gesamthafte Abschätzung der erreichbaren Effizienzsteigerung muss aber auch die Verbräuche der neuen Infrastruktur mit einbeziehen. Gemeinsam mit Österreich wurde deshalb untersucht [6], wie gross der Eigenverbrauch von Smart Meter ist und

mit welchem Zusatzverbrauch durch eine flächendeckende «Smart Metering»-Infrastruktur in der Schweiz und in Österreich zu rechnen ist. Die Ergebnisse wurden in technischen Szenarien zusammengefasst. Ziel war es, eine Vergleichbarkeit verschiedener Technologien zu ermöglichen. Gesamthaft wurden vier technische Szenarien ausgearbeitet, jeweils in Bezug zu den aktuellen Kommunikationstechnologien (PLC, GPRS/UMTS, Funkübertragung und M-Bus). Gemäss der im Projekt durchgeführten Messungen zeigten sich erhebliche Unterschiede im Eigenverbrauch von Smart Metern. Die gemessenen Verbräuche reichten von 1,4 bis 4,6 W für 3-phasige Geräte. Im Vergleich dazu benötigt der 3-phasige Ferrariszähler 3,9 W und der 3-phasige elektronische Multifunktionszähler 4,2 bis 4,6 W. Innerhalb der ge-



Figur 4: Web-basierte Benutzeroberfläche für iSmart-Kunden zur Bestimmung des Verbrauchs einzelner Geräte (Quelle: BKW FMB Energie AG).



Figur 5: Im Rahmen des Motoren-Annex EMSA werden Hilfsmittel für eine effiziente Dimensionierung von Antrieben entwickelt und zur Verfügung gestellt. Das «Motor System Tool» wird laufend weiterentwickelt (Quelle: Danish Technological Institute).

samen «Smart Metering»-Infrastruktur weist der Zähler selber den höchsten Energiebedarfsanteil auf. Davon wiederum entfällt der grösste Anteil auf die Einheit für die Datenkommunikation. Die gemessenen Energieverbräuche wurden zusammengeführt und unter verschiedenen Annahmen für Rollouts wurden Gesamtverbräuche für Österreich und die Schweiz errechnet. Dabei zeigt sich, dass der Rollout von neuen Smart Meter inklusive der zusätzlichen Kommunikationsinfrastruktur ähnliche Energieverbräuche bringen wird wie die zurzeit verwendeten Geräte oder in der Schweiz sogar zu einer Reduktion der Gesamtverbräuche führen könnte, falls die energieeffizienteste Zählerhardware und die energieeffizientesten Kommunikationstechnologien zum Einsatz kommen.

«Smart Metering» gehört zu den angestrebten Massnahmen der neuen schweizerischen Energiestrategie 2050. In einem umfassenden Impact Assessment [7] untersuchte das BFE für die Schweiz die volkswirtschaftlichen Folgen des Einsatzes von intelligenten Zählern, basierend auf unterschiedlichen Einföhrungsszenarien. In der Schweiz wäre demnach eine flächendeckende Einföhrung von «Smart Metering» aus volkswirtschaftlicher Sicht rentabel: Die Geräte- und Installationskosten föhren bis 2035 zu Mehrkosten von einer Milliarde

Franken gegenüber eines wirtschaftlichen Nutzens von 1,5 bis 2,5 Milliarden Franken. Von der flächendeckenden Einföhrung von «Smart Metering» profitieren in erster Linie Haushalte sowie Dienstleistungs- und Gewerbebetriebe. Für Netzbetreiber, Energielieferanten und -produzenten wären die Kosten unter der heute geltenden Regulierung höher als der Nutzen. Für die Wirtschaft ergeben sich aus der Einföhrung leicht positive Impulse. Zugunsten einer möglichst flächendeckenden Einföhrung sprechen ferner die Stimulierung des Wettbewerbs, die vermiedenen externen Kosten und die Bedeutung von «Smart Metering» für die Energiestrategie 2050.

Mit der Einföhrung von «Smart Metering» stehen in jedem Haushalt grundsätzlich ausgezeichnete Datengrundlagen zur Verfügung. Dieses Datenmaterial stellt eine wichtige Voraussetzung dar, um im Forschungsgebiet *Non-intrusive Appliance Load Monitoring* (NIALM) erhebliche Schritte vorwärts zu kommen. Mit dem NIALM-Ansatz kann aufgrund der charakteristischen, einzigartigen Eigenschaften von einzelnen Geräten (speziell bezüglich Strom-, Spannungs- und Leistungsverlauf beim Ein- und Ausschalten) der Gesamtstromverbrauch in Echtzeit detailliert auf die einzelnen Verbraucher aufgeteilt werden, und zwar ohne jeden Verbraucher einzeln messen zu müssen. Dies wäre extrem dienlich

zur Identifikation von ineffizienten Geräten, Standby-Verbrauchern etc. Im abgeschlossenen Projekt *LoReMA* (Load Recognizing Meter and Actor) wurden neben dem Bau einer intelligenten Steckdose diverse Algorithmen und Grundlagen für die NIALM-Thematik geprüft und implementiert. Auf dieser Basis und auf Anregung der Schweiz und von Österreich wurde zu diesem Forschungsaspekt und ergänzend zum Thema «Eigenverbrauch der Smart Meter-Infrastruktur» eine vertiefte Analyse [8] auf internationaler Ebene im Rahmen des IEA Implementing Agreements 4E durchgeführt. Die Arbeiten wurden erfolgreich abgeschlossen und dem Steering Committee präsentiert. Leider konnten im Nachgang nicht ausreichend viele interessierte Länder für den Aufbau eines eigenständigen Annexes gewonnen werden. Die entsprechenden Arbeiten wurden deshalb vorerst zurückgestellt.

In eine ähnliche Richtung wird in einem ergänzenden Projekt von *iSmart* [9] in der Gemeinde Ittigen BE geforscht. *iSmart* ist in ein grösseres Smart Grid Projekt eingebettet, in dem «Smart Metering», Lastmanagement, dynamische Tarife und Visualisierung in rund 200 Haushalten der Gemeinde Ittigen untersucht werden. Dank schneller Kommunikation über GPRS/DSL ist es möglich, das Ein- und Ausschalten von Geräten binnen weniger Sekunden zu messen. Diese

Fähigkeit wird genutzt, um in Interaktion mit dem Kunden in wenigen Schritten die Energieeffizienz der wichtigsten Gerätetypen zu bestimmen und Schritte zur Verbesserung vorzuschlagen (z. B. optimierter Betrieb, Austausch des Gerätes durch ein energieeffizienteres Gerät). Durch dieses Projekt soll der Beitrag von «Smart Metering» an die Verbesserung der Energieeffizienz erhöht werden. Im Internetportal «iSmart» wurde dazu eine Funktion «Geräteerkennung» integriert, die es erlaubt, durch Mitwirkung des Kunden die Effizienz der wichtigsten Geräte im Haushalt einzuordnen. Dabei kann eine Verknüpfung mit einer BKW-App erfolgen, woraus wiederum spezifische Handlungsoptionen abgeleitet werden können.

Effizienz von Endgeräten im Kontext des IEA Implementing Agreements 4E

Die Schweiz hat aktiv am Aufbau des IEA Implementing Agreements 4E *Energy Efficient End Use Equipment* mitgewirkt [10]. Damit konnten die Arbeiten der damaligen GEEA (Group of Energy Efficient Appliances) und der von der Schweiz initiierten, internationalen SEEEM-Initiative (Standards for Energy Efficiency of Electrical Motor Systems) in eine international etablierte Trägerschaft eingebettet werden.

Das Ziel des Implementing Agreements 4E besteht darin, die Energieeffizienz verschiedener Geräte auf internationaler Ebene voranzutreiben, allfällige Hemmnisse zu erkennen und Massnahmen auszuarbeiten, um diese zu eliminieren. Zur systematischen Bearbeitung werden themenorientierte Teilprojekte (Annexes) ins Leben gerufen. Im Moment sind die vier Annexes *Mapping & Benchmarking* (M&B), *Electric Motor Systems* (EMSA), *Standby Power* und *Solid State Lighting* (SSL) operativ.

Ziel des unter Schweizer Führung stehenden Motoren-Annexes EMSA [11] ist es, die technischen, regulatorischen sowie politischen Voraussetzungen zu schaffen, um bei interessierten Ländern eine Markttransformation hin zu energieeffizienteren elektrischen Antriebssystemen

zu erzielen. Im laufenden Jahr erfolgten grosse Anstrengungen zur öffentlichen Verbreitung konkreter Resultate. EMSA arbeitet ferner in verschiedenen Arbeitsgruppen der internationalen Standardisierungsorganisation IEC mit.

Im Standby-Annex unter der Führung von Australien werden im Rahmen des Projekts *Mapping Functions into Modes* verbreitete und gängige Funktionen verschiedenster elektrischer Endgeräte identifiziert und auf deren Effizienzpotenzial für globale Interventionen analysiert. Der Schlussbericht wird im Jahr 2013 erwartet. Die Kooperation mit SEAD (Super-efficient Equipment and Appliance Deployment) und der IEA im Bereich Standby wurde intensiviert. So werden im März 2013 in Toronto und im September 2013 in Paris zwei internationale Workshops unter der Schirmherrschaft von 4E/SEAD/IEA organisiert. Schwerpunktmässig steht unverändert die Thematik *Networked Standby* im Vordergrund.

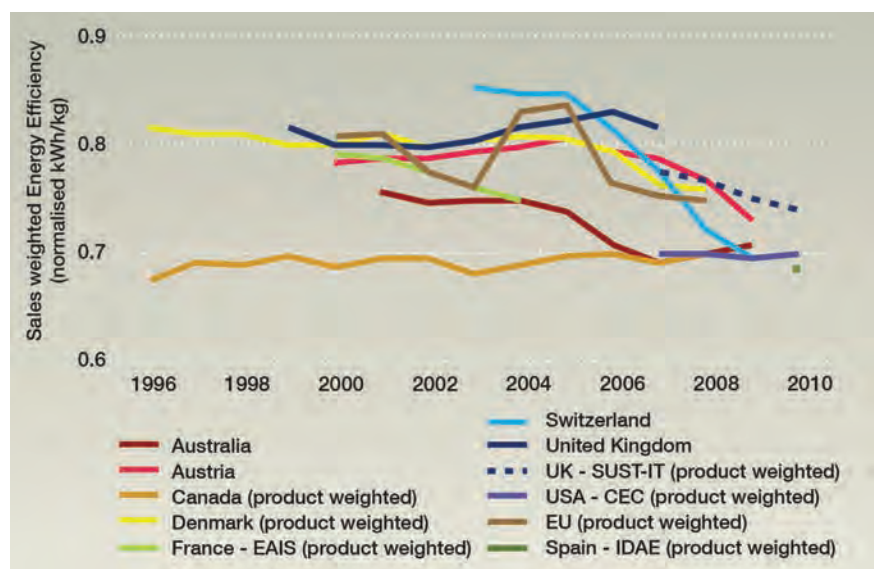
Die zentrale Arbeit im durch Grossbritannien geleiteten Annex *Mapping & Benchmarking* lag in der Fertigstellung des Benchmark-Dokuments für Verkaufsautomaten und Kühlmöbel in Verkaufsläden. Zudem wurde bei den Haushaltskühl- und Gefrierschränken vertieft

untersucht, welches der Einfluss resp. die Ursache der unterschiedlichen Effizienzen der Bestände in den verschiedenen Ländern ist. Schliesslich musste festgestellt werden, dass bezüglich Settop-Boxen international kaum Datenmaterial verfügbar ist. Dies macht es schwierig, entsprechende Analysen durchzuführen.

Die Arbeiten im Annex *Solid State Lighting*, d. h. LED, konzentrieren sich auf die Themen Qualitätssicherung, Testmethoden, Standardisierung und Akkreditierung von Laboratorien. Die entsprechenden Arbeiten laufen planmässig voran.

Im ExCo-Meeting vom Herbst 2012 wurde die Idee eines neuen Annex für Spielkonsolen eingebracht. Das Effizienzpotenzial wird international als sehr gross angesehen und aufgrund der Tatsache, dass der Markt praktisch durch drei internationale Konzerne/Unternehmen beherrscht wird, sollte im Rahmen einer internationalen Zusammenarbeit entsprechender Druck auf die Hersteller ausgeübt werden können, die zukünftigen Spielkonsolen effizient zu bauen.

Da das Implementing Agreement im Jahr 2014 ausläuft, sind erste Vorbereitungsarbeiten gestartet worden, um dieses zu verlängern.



Figur 6: Die Grafik zeigt die Effizienz von Wäschetrocknern, die international im Annex «Mapping & Benchmarking» verglichen wird. Interessant zu sehen ist, wie sich die gesetzlichen Vorgabe bei der Schweiz bereits vor der Einführung im Januar 2012 auswirkt (Quelle: 4E).

Nationale Zusammenarbeit

Durch periodische Treffen der BFE-Trendwatching-Gruppen zu den Themen Informations- und Kommunikationstechnik (IKT), Motoren/elektrische Antriebe, Thermoelektrik sowie Hochtemperatursupraleitung (HTSL) werden nationale Diskussionsplattformen für Fachleute aus Industrie, Hochschule und Forschungsstätten durch die Programmleitung zur Verfügung gestellt, wo Ideen für zukünftige Forschungsaktivitäten generiert und diskutiert werden.

Beide Eidg. Technischen Hochschulen in Zürich und Lausanne sowie mehrere Fachhochschulen werden immer wieder in Forschungsvorhaben einbezogen. So haben die EPFL, die Fachhochschulen Westschweiz (Sion), die Hochschule Luzern (iHomeLab) sowie die Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) in den Bereichen Motoren, Leistungselektronik, Smart Home und Thermoelektrik diverse Projektarbeiten geleistet. Auch die Empa ist in verschiedenen fachlichen Bereichen in spezifische Forschungsaktivitäten eingebunden.

Die Erforschung neuer Materialien im Bereich der Hochtemperatursupraleitung ist im dritten 4-Jahreszyklus des nationalen Forschungsschwerpunkts *Materials with Novel Electronic Properties* (MANEP) des schweizerischen Nationalfonds miteingeschlossen. Die Aktivitäten haben im Juli 2009 begonnen und enden 2013.

Die Zusammenarbeit mit der Industrie wird intensiv gepflegt und es wird darauf geachtet, Industriepartner in umsetzungsnahe Projekte einzubeziehen. Neben Forschungsprojekten, die mit etablierten Firmen wie beispielsweise der Helbling Technik AG, der Zehnder Group Schweiz AG, der von Roll casting AG oder der Swisscom AG durchgeführt werden, werden gleichermassen auch jüngere Firmen wie z. B. das Startup-Unternehmen greenTEG GmbH oder die Hexis AG in ihren Forschungsaktivitäten unterstützt, soweit diese mit den Stossrichtungen des vorliegenden Forschungsprogramms einhergehen. Kontakte zu Förderinstitutionen wie dem Energiesparfonds der Stadt Zürich, dem Stromsparfonds Basel-Stadt sowie der KTI werden verschiedentlich durch gemeinsame Finanzierungen gepflegt. Zudem bestehen gute Kontakte zu Swisselectric Research [12] und zu verschiedenen Elektrizitätswerken. In diversen Projekten wird ein enger Kontakt zu den schweizerischen Energieagenturen EnAW, eae und S.A.F.E [13] gepflegt und es werden, soweit zweckmässig, Branchenverbände wie z. B. swissT.net, Swissem, Swico, FEA eingebunden.

Zur Sicherstellung einer Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse wird ein enger Kontakt mit dem Programm EnergieSchweiz [14] gepflegt.

Internationale Zusammenarbeit

Durch die Teilnahme am IEA Implementing Agreement *Assessing the Impact of High Temperature Superconductivity on the Electric Power Sector* [15] erfolgt ein periodischer, internationaler Informationsaustausch zwischen den 12 teilnehmenden Ländern. Auch die *European Society for Applied Superconductivity* (ESAS) trägt zum internationalen Wissenstransfer bei. Eine wichtige internationale Zusammenarbeit besteht im Rahmen des Fusionsprogramms ITER am PSI in Villigen. Im Rahmen des 7. Europäischen Forschungsrahmenprogramms (FP7) ist ferner ein Projekt im Gange, das unter der Führung des CERN und der Universität Genf als Partner den Bau von Hochfeldmagneten für Teilchenbeschleuniger zum Ziel hat.

Durch die führende Position der Empa in der Entwicklung thermoelektrischer Materialien ergeben sich diverse Zusammenarbeiten mit internationalen Forschungsorganisationen. So bestehen spezielle Beziehungen zu den deutschen Universitäten Augsburg und Halle-Wittenberg sowie zum Fraunhofer-Institut. Daneben erfolgt ein reger Austausch mit der University of South Florida und dem japanischen National Institute for Materials Science (NIMS).

Die Schweiz ist durch das IEA Implementing Agreement 4E [10] international stark vernetzt und hat mit der Leitung

des Motoren-Annex zudem fachliche Verantwortung übernommen. Nach längeren Vorbereitungsarbeiten konnte im Kontext von 4E und dem Motoren-Annex im Frühling 2012 eine enge Kooperation zwischen Forschern aus Australien und der EPFL zur Lösung einer Reihe von technischen Fragen in Bezug auf Motorentest- und Effizienzklassenstandards etabliert und vertraglich vereinbart werden.

Im Rahmen der Umsetzung der europäischen ErP-Richtlinien (ErP = Energy related Products) führt die EU umfangreiche Untersuchungen und Studien durch. Die Schweiz verfolgt diese Aktivitäten und es werden verschiedentlich Erkenntnisse und Erfahrungen bei Diskussionen (z. B. Stakeholder-Meetings) eingebracht.

Ende 2009 haben die drei Länder Deutschland, Österreich und Schweiz ein Memorandum of Understanding (MoU) zur Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Erforschung und Entwicklung von IKT-basierten Energiesystemen der Zukunft unterzeichnet (Kooperation D-A-CH Smart Grids). In diesem Rahmen ist in Form eines Gemeinschaftsprojekts des BFE (Schweiz) und des bmvit (Österreich) das Vorhaben zur Ermittlung des Eigenenergiebedarfs von Smart Meters eingebettet [6].

Persönliche Kontakte zu verschiedenen Energieagenturen (insbesondere Dänemark, Niederlande, Österreich und Frankreich) sowie zu Schlüsselpersonen internationaler Programme wie z. B. dem UK Market Transformation Programme, ermöglichen immer wieder inspirierende Anregungen. Ferner werden die Kontakte mit der IEA, der amerikanischen Environmental Protection Agency (EPA) und der Europäischen Kommission zum Informationsaustausch genutzt.

Im Rahmen von punktuellen, unterstützenden Arbeiten und Treffen bezüglich den europäischen freiwilligen Vereinbarungen (*Codes of Conduct*) für USV-Anlagen, Settop-

Boxen und Broadband Devices können interessante Kontakte zum europäischen Forschungszentrum (JRC) in Ispra und zur einschlägigen, europäischen Industrie aufgebaut und gepflegt werden. Speziell im USV-Bereich bringt sich die Schweiz aufgrund des bestehenden Fachwissens aktiv und kompetent ein, was interessante Kontakte zum europäischen Verband *European Committee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics* (CEMEP) ermöglichen. Ferner werden mit der aktiven Beobachtung der Weiterentwicklung der freiwilligen Vereinbarungen für Settop-Boxen konkrete Anregungen für die diesbezüglichen, regulatorischen Arbeiten in der Schweiz möglich.

Referenzen

[1] T. Kaiser, B. Hotz-Hart, A. Wokaun: Aktionsplan Koordinierte Energieforschung Schweiz (24. April 2012).

[2] R. Brüniger: Forschungskonzept 2013–2016 Elektrizitätstechnologien und -anwendungen (2012).

[3] J. Nipkow, G. Togni: Elektroheizungen – Massnahmen und Vorgehensoptionen zur Reduktion des Stromverbrauchs, 30. Oktober 2009.

[4] A. Kaiser, S. Stahl: Einzelraumwärmepumpe ERWP als Ersatz für Elektrospeicherheizungen, Schlussbericht (2012).

[5] S. Tomek, Energieeffizienz eines DC-Hauses, JB (2012).

[6] M. Preisel, W. Wimmer, D. Frey, A. Huser: «Smart Metering»-Consumption, Eigenverbrauch von Stromzählern, SB (2012).

[7] M. Baeriswyl et al.: Folgeabschätzung einer Einführung «Smart Metering» im Zusammenhang mit «Smart Grids» in der Schweiz, SB (2012).

[8] A. Diaz, S. Tomek: Scoping Study Energy Efficient «Smart Metering», SB (2012).

[9] D. Berner, R. Witschi: Pilotprojekt iSMART Geräteerkennung und Gerätemessung, Jahresbericht (2012).

[10] IEA IA 4E: www.iea-4e.org.

[11] Conrad U. Brunner, Rita Wehrle: IEA 4E Electric Motor Systems Annex, Jahresbericht (2012).

[12] swisselectric research: www.swisselectric-research.ch.

[13] www.energieagentur.ch, www.energie-agentur.ch und www.eae-geraete.ch.

[14] EnergieSchweiz: www.energie-schweiz.ch.

[15] IEA IA High Temperature Superconductivity: www.superconductivityiea.org.

Laufende und im Berichtsjahr abgeschlossene Projekte

(* IEA-Klassifikation)

2-WATT PROTOTYPEN ROUTER

R&D 1.2 *

Lead:	Swisscom AG	Funding:	BFE
Contact:	Andreas Martschitsch andreas.martschitsch@swisscom.com	Period:	2012–2013
Abstract:	Die heutigen Breitband Router benötigen allesamt ca. 5–10 Watt an elektrischer Leistung. Das Projekt will mit innovativen Herstellern einen Prototypen eines Breitband-Routers bauen, der die Bedürfnisse eines grossen Teils der Privatkunden erfüllt und im Ruhezustand weniger als 2 W verbraucht. Falls erfolgreich, soll das Konzept für diesen Router innerhalb von 2–3 Jahren im Markt umgesetzt werden.		

ADVANCED 3-PHASE MULTIPULSE RECTIFIERS AND INVERTERS

R&D 1.1

Lead:	Schaffner EMV AG	Funding:	BFE
Contact:	Norbert Häberle norbert.haeberle@schaffner.com	Period:	2010–2012
Abstract:	Das Projektziel umfasst die Konzipierung, den Bau und den Test optimierter magnetischer Komponenten für Multipuls-Strom-Splitter-/Merger-Frontends. Die neuen Konzepte streben die Substitution von passiven harmonischen Filtern und Multipuls-Transformatoren an.		

- **ANWENDUNGEN UND POTENZIALE VON VAKUUM SPALT ISOLATIONEN** R&D 1.2
- Lead: Helbling Technik AG Funding: BFE
 Contact: Hans Tischhauser hans.tischhauser@helbling.ch Period: 2012–2013
 Abstract: Basierend auf den Vorgänger-Projekten bezüglich thermischer Vakuum-Spalt-Isolation (VSI) für Haushaltsgeräte sollen weitere mögliche Anwendungen und deren Energiespar-Potenzial aufgezeigt werden. Dabei sollen Prozesse, Maschinen und Geräte aus industriellen Anwendungsgebieten erfasst werden, bei welchen nennenswerte Temperaturunterschiede zur Umgebung aus funktionellen Gründen notwendig sind.
- **COST-EFFECTIVE AND RELIABLE THERMOELECTRIC CONVERTERS FOR INDUSTRIAL WASTE HEAT RECOVERY** P&D 6.1
- Lead: Empa Funding: BFE
 Contact: Anke Weidenkaff Anke.Weidenkaff@Empa.ch Period: 2010–2013
 Abstract: Thermoelectric converters (TEC) for power generation will be developed which aim at reducing electricity consumption via the conversion of a part of the low-grade waste heat generated by engines, industrial furnaces, gas pipes, etc. to electricity. The goal of the project is to demonstrate the feasibility of the efficient recovery of waste heat from industrial production processes.
- **EFFIZIENTE, DIREKTE UMWANDLUNG VON WÄRME IN STROM DURCH INNOVATIVE SCHICHTSTRUKTUREN (LTEC)** R&D 6.1
- Lead: Empa Funding: BFE
 Contact: Anke Weidenkaff Anke.Weidenkaff@Empa.ch Period: 2008–2012
 Abstract: Ziel des Projekts ist eine effiziente Abwärmenutzung mittels geschichteter thermoelektrischer (TE) Konversionssysteme. Die Neuentwicklung verbesserter TE-Materialien soll die optimale Nutzung unterschiedlicher Temperaturgradienten ermöglichen. Dazu werden neue Synthese- und Strukturierungsmethoden weiterentwickelt und eingesetzt.
- **ENERGIEEFFIZIENZ EINES DC-HAUSES** R&D 1.2
- Lead: iHomeLab Funding: BFE
 Contact: Stephan Tomek stephan.tomek@hlsu.ch Period: 2012–2013
 Abstract: Verschiedene Publikationen zeigen, dass durch den Umstieg von Wechsel- auf Gleichstrom (DC) die Energieeffizienz gesteigert werden kann. So wurde kürzlich ein neues Rechenzentrum mit DC realisiert. Die erzielten Energieeinsparungen betragen bis zu 20%. Mit der DC-Studie wird analysiert, welches Energieeinsparpotenzial sich durch die Umstellung oder Ergänzung mit DC in Wohn- und Geschäftsgebäuden realisieren liesse.
- **ENTWICKLUNG EINER HOCHEFFIZIENTEN >125LM/W LED LEUCHTENFAMILIE MIT AEROGELDIFFUSOR** R&D 1.2
- Lead: Empa Funding: BFE
 Contact: Matthias Koebel matthias.koebel@Empa.ch Period: 2011–2013
 Abstract: Im Rahmen dieses Projekts werden Möglichkeiten für den Einsatz von Aerogelmaterialien als Diffusor in Kombination mit Farbverschiebern (Lumineszenzmitteln) in der LED Beleuchtung untersucht. Einerseits wird auf der Materialseite an neuartigen Kombinationen dieser zwei Komponenten geforscht, andererseits werden mit dieser Technologie eigens Leuchtenprototypen entwickelt.
- **ERGÄNZUNG ZUR 4E-EFFIZIENZSTUDIE «SMART METERING»-INFRASTRUCTURE** R&D 1.2
- Lead: iHomeLab Funding: BFE
 Contact: Stephan Tomek stephan.tomek@hlsu.ch Period: 2011–2012
 Abstract: Im Rahmen des Implementing Agreements 4E klärt das iHomeLab und die österreichische Ecodesign ab, inwiefern es durch die «Smart Metering»-Infrastruktur zu einem Strommehrverbrauch kommt, und in welchem Ausmasse das NIALM-Verfahren (NIALM = Non-intrusive Appliance Load Monitoring) zu einer Effizienzsteigerung beitragen könnte.
- **HITTEC: INTEGRATION OF HIGH TEMPERATURE THERMOELECTRIC CONVERTER FOR ELECTRICITY GENERATION IN A SOLID OXIDE FUEL CELL SYSTEM** R&D 6.1
- Lead: Empa Funding: BFE
 Contact: André Heel andre.heel@Empa.ch Period: 2011–2016
 Abstract: Im Hochtemperaturbereich gilt es im vorliegenden Projekt, einerseits die Materialentwicklung voranzutreiben und gewisse Materialprobleme weiter zu lösen und andererseits anhand einer konkreten, ersten Anwendung zu prüfen, ob mit dieser Technologie eine effektive Abwärmenutzung von Brennstoffzellen der Fa. Hexis realisiert werden kann. Dazu wird ein Module für den Einbau in eine Brennstoffzelle als Prototyp gebaut und ausgemessen.

- **HOCHEFFIZIENTE ISOLATION FÜR HAUSHALTSGERÄTE – BAUELEMENTE FÜR VAKUUMPANELS** R&D 1.2
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | Helbling Technik AG | Funding: | BFE |
| Contact: | Hans Tischhauser
hans.tischhauser@helbling.ch | Period: | 2012–2013 |
- Abstract: Vor der Prototypen-Entwicklung von industriell fertigen panelartigen oder kubischen Vakuumpalt Isolation (VSI) müssen die Aufbauarten und Fertigungsmöglichkeiten der Bauelemente "Distanzhalter" und "Rand-Distanzhalter" im Detail abgeklärt werden. Die Resultate bildet die Basis für die Prototyp-Entwicklung von beliebig geformten Bauteilen oder Geräten mit Vakuumpalt-Isolation.
- **HOCHEFFIZIENTE ISOLATION FÜR HAUSHALTSGERÄTE – ZYLINDRISCHER ANWENDUNGEN** R&D 1.2
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | Helbling Technik AG | Funding: | BFE |
| Contact: | Hans Tischhauser
hans.tischhauser@helbling.ch | Period: | 2010–2012 |
- Abstract: Die Arbeit konzentriert sich auf die Anwendung eines Vakuumpalts zur thermischen Isolation von zylindrischen Körpern. Für Kühlschränke erfolgt dies konzeptionell, während für Boiler die Untersuchung bis zu einem produktionsnahen Funktionsmuster vorangetrieben wird. Es zeigt sich, dass dank der Vakuum-Isolation gegenüber der Isolation heutiger Geräten eine Reduktion der Wärmeverluste von über 80% erreicht werden kann.
- **IEA IMPLEMENTING AGREEMENT 4E** Int. 1.2
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | R. Brüniger AG | Funding: | BFE |
| Contact: | Roland Brüniger
roland.brueeniger@r-brueniger-ag.ch | Period: | 2008–2013 |
- Abstract: Im Rahmen des IEA Implementing Agreements 4E (Efficient Electrical End Use Equipment) laufen mehrere Annexes, die den sparsamen und effizienten Umgang der Elektrizität anstreben. Die Schweiz engagiert sich aktiv in den Annexes Motoren, Standby sowie Mapping & Benchmarking.
- **IEA IMPLEMENTING AGREEMENT HTSL** Int. 7.2
- | | | | |
|----------|---|----------|-----------|
| Lead: | R. Flükiger | Funding: | BFE |
| Contact: | René Flükiger
Rene.Flukiger@unige.ch | Period: | 2006–2013 |
- Abstract: Das Implementing Agreement "Assessing the impact of High Temperature Superconductivity Electric power sector" verfolgt das Ziel, eine möglichst umfassende Information über die wichtigsten nationalen und internationalen Aktivitäten auf dem Gebiet der Hoch-Tc – Supraleitung zu geben, mit Hauptinteresse auf den Entwicklungen im Energiesektor.
- **ISMART ERGÄNZUNGSPROJEKT GERÄTEERKENNUNG** R&D 1.2
- | | | | |
|----------|---|----------|-----------|
| Lead: | BKW FMB Energie AG | Funding: | BFE |
| Contact: | Daniel Berner
daniel.berner@bkw-fmb.ch | Period: | 2011–2012 |
- Abstract: Dank schneller Kommunikation über GPRS/DSL ist es möglich, das Ein- und Ausschalten von Geräten binnen weniger Sekunden zu messen. Diese Fähigkeit soll genutzt werden, um in Interaktion mit dem Kunden in wenigen Schritten die Energieeffizienz der wichtigsten Gerätetypen zu bestimmen und Schritte zur Verbesserung vorzuschlagen (z. B. optimierter Betrieb, Austausch des Gerätes durch ein energieeffizienteres Gerät).
- **LOREMA – LOAD RECOGNISED METER AND ACTOR** R&D 1.2
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | iHomeLab | Funding: | BFE |
| Contact: | Alexander Klapproth
alexander.klapproth@hslu.ch | Period: | 2010–2012 |
- Abstract: Mit dem Projekt soll die Hard- und Firmware für eine funkferngesteuerte, intelligente Steckdose mit einzigartigen Merkmalen entwickelt werden. Eine präzise Energiemessung mit schneller Abtastung und mit intelligenten Lastaufschlüsselungsalgorithmen soll ergänzend die Erkennung der Last mittels Signatur ermöglichen.
- **MACHBARKEIT / PROTOTYP EINZELRAUM-WÄRMEPUMPE** R&D 1.2
- | | | | |
|----------|---|----------|-----------|
| Lead: | awtech AG | Funding: | BFE |
| Contact: | Andreas Kaiser
andreas.kaiser@awtec.ch | Period: | 2010–2012 |
- Abstract: In der Schweiz verbrauchen die installierten Elektrospeicheröfen ca. 1'000GWh Strom pro Jahr. Bei einer angestrebten Jahresarbeitszahl (JAZ) einer Einzelraumwärmepumpe von 3.0 ergibt sich somit ein Energiesparpotenzial von 2/3 des aktuellen Verbrauchs. Mit einem Industriepartner wird deshalb ein Prototyp einer Einzelraumwärmepumpe entwickelt.

- **MESSMETHODEN ZUR STANDARDISIERTEN EFFIZIENZBESTIMMUNG HOCHEFFIZIENTER ELEKTRISCHER ANTRIEBE** R&D, Int 1.1
- Lead: EPFL Funding: BFE
- Contact: Roland Wetter roland.wetter@epfl.ch Period: 2012–2014
- Abstract: Im Rahmen des Projekts werden in Kooperation mit Australien eine Reihe von technischen Fragen in Bezug auf Motoren- und Antriebssystemtests- und Effizienzklassenstandards geprüft und gemessen, um belastbare technische Grundlagen für den Standardisierungsprozess verfügbar zu haben.
- **METALLE SELTENE ERDEN: ALTERNATIVEN FÜR EFFIZIENTE INDUSTRIEMOTOREN** R&D 1.1
- Lead: Circle Motoren AG Funding: BFE
- Contact: Markus Lindegger info@circlemotor.ch Period: 2012–2013
- Abstract: Hocheffiziente Elektromotoren verfügen oft über Magnetmaterial aus seltenen Erden. Da diese Metalle in verschiedener Hinsicht problematisch sind, wird untersucht, ob der Bau hocheffizienter Elektromotoren unter Verzicht von seltenen Erden Magneten möglich ist.
- **OPERATING AGENT: ANNEX "ELECTRIC MOTOR SYSTEMS" DES IMPLEMENTING AGREEMENTS 4E** Int. 1.1
- Lead: A+B International Funding: BFE
- Contact: Conrad U. Brunner cub@cub.ch Period: 2010–2014
- Abstract: Der Electric Motor Systems Annex (EMSA) strebt an, das international bekannte Wissen über energieeffiziente elektrische Antriebssysteme zu sammeln, zu koordinieren und in geeigneter globaler Form zu verbreiten. Ebenfalls werden verschiedene Untersuchungen im Motorenbereich durchgeführt.
- **PROTOTYP EINES VAKUUM-WÄSCHETROCKNERS** R&D 1.2
- Lead: innostarter AG Funding: BFE
- Contact: Jochen Ganz jochen.ganz@awtec.ch Period: 2010–2012
- Abstract: Wäschetrockner alleine verursachen in der Schweiz etwa 550 GWh pro Jahr. Das Projekt "Vakuum-Wäschetrockner" hat zum Ziel, einen Wäschetrockner zu entwickeln, der nur die Hälfte der Energie eines Trockners der Energieeffizienzklasse A braucht und somit mindestens so gut wie ein heutiger Wärmepumpen-Wäschetrockner ist.
- **PROTOTYP OF A THERMOELECTRIC POWER GENERATOR** R&D 6.1
- Lead: greenTEG GmbH Funding: BFE
- Contact: Wulf Glatz wulf.glatz@greenteg.com Period: 2011–2013
- Abstract: Thermoelektrische Generatoren (TEGs) ermöglichen Wärme direkt in Strom zu wandeln. Um das Potenzial dieser Technologie im Niedertemperaturbereich ($\leq 150^\circ\text{C}$) zu demonstrieren ist das Ziel dieses Projektes die Herstellung eines stromerzeugenden Wärmetauscherprototypen. Dies beinhaltet die Fertigung von TEGs, deren Verpackung sowie deren Integration in einen Wärmetauscher.
- **REALISATION ET CARACTÉRISATION ÉTENDUE D'UN PROTOTYPE DE SYSTÈME DE STOCKAGE HYDROPNEUMATIQUE D'ÉNERGIE** R&D 6.3
- Lead: Enairys Powertech Ltd Funding: BFE
- Contact: Sylvain Lemofouet sylvain.lemofouet@enairys.com Period: 2009–2012
- Abstract: Le but du présent projet est de réaliser et caractériser étendue une installation expérimentale permettant de prouver la faisabilité du piston liquide à eau pour une pression de l'ordre de 250bar et de démontrer l'efficacité d'un système de compression/détente qui minimise le contact direct entre l'air et l'eau.
- **«SMART METERING» CONSUMPTION** R&D, Int 1.2
- Lead: Ecodesign Company Funding: BFE
- Contact: Wolfgang Wimmer wimmer@ecodesign-company.com Period: 2010–2012
- Abstract: Das Projekt «Smart Metering» consumption beschäftigt sich mit dem Eigenenergieverbrauch von «Smart Metering»-Hardware. In Zusammenarbeit mit den Akteuren der Branche werden die nach Stand der Technik verfügbaren Lösungen auf eine Vergleichsbasis gebracht und messtechnisch untersucht.



Michael Moser

Netze



Optimierung des Betriebes von Freileitungen aus meteorologischer Sicht

Vereiste 380-kV-Lukmanierleitung nach dem Sturm «Andrea» vom 5. Januar 2012 (Quelle: Alpiq EnerTrans AG). Im Rahmen eines 2012 gestarteten Projekts [1] wird die Eisbildung an Freileitungen modelliert, um Netzplanung und -betrieb optimal gestalten zu können. Dazu wurde u.a. eine mit Globalstrahlungssensoren sowie einer Web-Kamera ausgerüstete Meteostation am 15. November 2012 am höchsten Punkt der Lukmanierleitung (2510 m ü. M.) in Betrieb genommen. Bereits wenige Tage nach dem eigentlichen Ereignis konnten Eisgebilde von bis zu einem Meter Länge beobachtet werden. In Kombination mit den Bildern der Kamera sollten in Zukunft entsprechende Witterungssituationen detailliert dokumentiert werden können, um in die Modellierungsarbeiten einzufließen.

Einleitung

Am 11. März 2011 ereignet sich im Pazifischen Ozean vor Japan ein folgenreiches Seebeben, dessen direkte und indirekte Auswirkungen die Energie-debatte in vielen Regionen der Welt in der Folge dominieren sollte. Der ausgelöste Tsunami trifft unter anderem das Kernkraftwerk Fukushima Daiichi und markiert den Beginn einer ganzen Reihe schwerster Störfälle. In der Folge werden grosse Landstriche um das Kernkraftwerk radioaktiv kontaminiert und auf lange Sicht unbewohnbar gemacht. Die Versorgung mit ausreichenden Mengen an Elektrizität wird wegen der Schäden zum anhaltenden Problem.

Auch in der Schweiz führt kein Weg an einer Diskussion über die Zukunft unserer Energieversorgung vorbei, vor allem im Elektrizitätsbereich. Am 25. Mai 2011 spricht sich der Bundesrat für saubere, sichere, weitgehend autonome und wirtschaftliche Elektrizitätsversorgung aus und beschliesst, die bestehenden Kernkraftwerke am Ende ihrer sicherheitstechnischen Betriebszeit vom Netz zu nehmen und nicht mehr durch neue Kernkraftwerke zu ersetzen. Das Parlament schliesst sich im Verlauf des Jahres im Wesentlichen dem Bundesratsbeschluss an.

Verschiedene alternative Energiequellen bieten sich für die Energiezukunft der Schweiz an, allem voran die Steigerung der Energieeffizienz, der Ausbau der Wasserkraft sowie neue erneuerbare Energiequellen. Zur Deckung des Restbedarfs können Wärme-Kraft-Kopplungs-Anlagen oder Gas-Kombikraftwerke beisteuern, oder aber auch Importe.

Die immense Herausforderung, diese Energiequellen innert nützlicher Frist zu erschliessen, wird durch eine weitere nicht zu unterschätzende ergänzt – den Aus- und Umbau des Elektrizitätsnetzes. Vor allem die vermehrte Nutzung dezentraler Energiequellen und deren teilweise stark fluktuierende Einspeisecharakteristik sowie die Steigerung der Elektrizitätsnachfrage durch die Ablösung fossiler Energieträger stellen das gesamte Energiesystem vor grosse Herausforderungen. Sie verstärken die bisherigen Treiber, zum Beispiel die Elektrizitätsmarktliberalisierung, um ein Vielfaches. Ein grosser Teil entfällt auf die Umsetzung, namentlich auf den Bau neuer Leitungen und die Schaffung von ausreichend Speicherkapazitäten.

Aber auch intelligente Netze – «Smart Grids» – stellen ein zentrales Instrument zur Erreichung der Ziele dar. Genau in diesem Bereich besteht aber derzeit noch grosser Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsbedarf. Die intelligente

Nutzung aller zur Verfügung stehenden Ressourcen sowie die Optimierung und Integration des Gesamtsystems sind entscheidend. Sowohl der 2012 entstandene «Aktionsplan koordinierte Energieforschung» [2] wie auch das verabschiedete «Energieforschungskonzept des Bundes 2013–2016» [3] haben die Wichtigkeit des Themas aufgegriffen und die zugehörigen Forschungsanstrengungen prioritär eingestuft. Das vorliegende Forschungsprogramm *Netze* des Bundesamts für Energie nimmt dadurch bei der subsidiären öffentlichen Förderung angewandter Forschung künftig eine noch wichtigere Rolle ein. Ausserdem unterstützt es das Bundesamt weiterhin bei der Erfüllung seiner Aufgaben, beispielsweise durch die Durchführung der «Folgeabschätzung einer Einführung von Smart Metering in der Schweiz» [4] oder durch den Einsitz in verschiedensten internationalen Gremien zur Forschungskoordination und damit zum optimalen Einsatz der – nach wie vor – verhältnismässig geringen finanziellen Mittel.

Nichts desto trotz haben verschiedene in diesem Jahr unterstützte Arbeiten wieder ein signifikantes Umsetzungspotenzial, sei es im Rahmen eines Pilot- oder Demonstrationsprojekts oder gar in Form eines «Leuchtturms».

IEA Klassifikation: 6.2 Electricity transmission and distribution

Schweizer Klassifikation: 1.5 Netze und Systeme

Programmschwerpunkte

Dem schweizerischen Elektrizitätsnetz kommt sowohl hinsichtlich seiner zentralen Lage in Mitteleuropa, als auch der Vermaschung mit den Nachbarstaaten die Funktion einer Stromdrehscheibe zu. Ändernde gesetzliche Bestimmungen innerhalb der Schweiz, aber auch der von der EU getriebene europäische Energiebinnenmarkt beeinflussen die Rahmenbedingungen für die Elektrizitätserzeugung, -übertragung und -verteilung nachhaltig und stellen weit reichende Ansprüche insbesondere im Netzbereich. Komplementär zum Wandel des legislativen Umfelds tragen auch technologische Entwicklungen sowie die drohende Verknappung einzelner Energieträger zu verschiedenen Entwicklungen im Netzinfrastukturbereich bei:

- Fortschreitende Durchdringung dezentraler und/oder fluktuierender Einspeisungen in Netze;
- Zunahme der Energieflüsse in den Übertragungsnetzen infolge grenzüberschreitenden Stromhandels und daraus resultierende verstärkte Engpasshäufigkeit;
- Zunehmende Alterung der bestehenden Infrastruktur;
- Wechselseitige Abhängigkeit von Netzbetrieb und Ausgestaltung liberalisierter Märkte;
- Übertragung, Verteilung und Konversion verschiedener Energieträger in Multienergieträgernetzen;
- Vermehrter Einsatz verschiedener dezentraler Energiespeicher;
- Erhöhte Sensibilisierung verschiedener Interessensvertreter für interdisziplinäre Aspekte.

Im Zusammenhang mit diesen Entwicklungen werden nicht nur die Auswirkungen des sich verändernden technologischen, ökonomischen und legislativen Umfelds auf Netzbetrieb und Versorgungszuverlässigkeit untersucht, sondern es wird auch die Konzeption von neuartigen Netzinfrastrukturen, sog. «Smart Grids», unter Einbezug vermehrter dezentraler Erzeugung und Energiespeicher unterstützt. Einen weiteren Schwerpunkt bildet die Erarbeitung von Konzepten zu effizientem Design und Management der Energiedrehscheibe Schweiz. Dabei werden Fragen zu

Netzregulierung, Engpassmanagement, langfristigem Netzausbau und der Abhängigkeit von Strom-, Gas- und Wärmenetzen bearbeitet. Die Forschung ist generell an den Kriterien Versorgungszuverlässigkeit, Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit ausgerichtet, wobei auch sozio-ökonomische Fragestellungen wie Preisgerechtigkeit berücksichtigt werden. Das Forschungsprogramm ist international gut vernetzt (IEA [5], EU [6, 7]).

Rückblick und Bewertung 2012

Die Projekte und Aktivitäten im Forschungsprogramm *Netze* haben auch im Jahr 2012 dazu beigetragen, verschiedenste Aspekte bestehender und künftiger Energiesysteme erforschen und entsprechende Kompetenzen in der Schweiz aufbauen und fördern zu können.

Im Bereich «Elektrizitätsnetze» bestand die Zielsetzung darin, verschiedene Konzepte für die erfolgreiche Systemintegration dezentraler Erzeugungsanlagen und Speichertechnologien sowie zu Vorrhaltung und Einsatz von Regelreserven zu erarbeiten, zu evaluieren und in der Praxis anzuwenden. Dazu wurden verschiedene Forschungs- und Pilotprojekte gestartet resp. weitergeführt. Insbesondere wurden die volkswirtschaftlichen Auswirkungen einer Einführung von «Smart Metering» im Zusammenhang mit «Smart Grids» [4] ausführlich untersucht. Im Hinblick auf den notwendigen Ausbau der Übertragungsnetzinfrastuktur konnten ebenfalls erste wichtige Erkenntnisse zu einem möglichen künftigen gemeinsamen Betrieb von Wechselstrom- und Gleichstromübertragungsnetzen erzielt werden. Aber auch die Erforschung von Möglichkeiten zur besseren Auslastung der bestehenden Übertragungsnetzinfrastuktur wurde fortgesetzt.

Im Zusammenhang mit dem Themenbereich «Multienergieträgernetze» konnten mehrere Projekte zur Potenzialanalyse und -erschließung von Laststeuerungen in verschiedenen Bereichen initiiert werden.

Im Bereich «Technologie» standen die Untersuchung der Auswirkungen von Fehlerfällen in Gleichstromübertragungsnetzen auf die relevanten Netzelemente

sowie die Erarbeitung der Grundlagen für effiziente Leistungselektronik in Mittelspannungsbatterien im Vordergrund.

Diese Schwerpunkte wurden durch internationale Aktivitäten ergänzt und die Koordination der Forschungsaktivitäten dadurch unterstützt. Das «SmartGrids ERA-Net» [7] wurde bis ins Jahr 2014 verlängert und die Zusammenarbeit mit der IEA im Hinblick auf die «Smart Grids Roadmap» verstärkt.

Ausblick

Aufgrund der nationalen und internationalen Entwicklungen wurde die Schwerpunktsetzung im Detailkonzept 2013–2016 des Forschungsprogramms *Netze* [8] aktualisiert.

In Zusammenarbeit mit dem Forschungsprogramm *Energie–Wirtschaft–Gesellschaft (EWG)* wird der künftige Speicherbedarf der Schweiz, der sich aus den Szenarien der Energiestrategie 2050 ergibt, untersucht und es werden wirtschaftliche Varianten zu dessen Deckung abgeleitet. In einem weiteren gemeinsamen Projekt werden Möglichkeiten erörtert, wie und unter welchen Bedingungen der Eigenverbrauch von dezentral erzeugtem Photovoltaikstrom maximiert werden kann. Weitere interdisziplinäre Projekte mit den Forschungsprogrammen *Verbrennung* (Potenzial biogener Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen im Schweizer Stromnetz), *Akkumulatoren & Supercaps* (Integration grösserer Netzspeicher) sowie *Kraftwerk 2020* (Beitrag von Gaskraftwerken zur Netzstabilität) werden weitergeführt oder gestartet. Ausserdem ist 2013 der Start eines internationalen Projekts absehbar, in dessen Rahmen Leitlinien zur Planung künftiger Verteilnetze, unter Berücksichtigung der Aspekte von «Smart-Grids» und «Smart Markets», erarbeitet werden sollen.

Auch weiterhin besteht Bedarf an Pilot- und Demonstrationsprojekten, in denen verschiedenste Aspekte umfassend untersucht und entsprechende Lösungsansätze demonstriert werden können. Aufgrund der Aufstockung des entsprechenden Budgets 2013 könnte verschiedenen, im Rahmen von Forschungsprojekten entwickelten Ansätzen der Übergang in die nächste Phase ermöglicht werden.

Highlights aus Forschung und Entwicklung

Folgeabschätzung der Einführung von «Smart-Metering» im Zusammenhang mit «Smart-Grids» in der Schweiz

Das Ziel der Studie [4] war es, verschiedene Szenarien zu einem möglichen Smart-Metering-Rollout zu definieren und diese hinsichtlich wirtschaftlicher, sozialer und ökologischer Kosten und Nutzen zu beurteilen. Dabei sollte auch aufgezeigt werden, bei welchen Akteuren diese Kosten und Nutzen auftreten. Der primäre Betrachtungshorizont sollte sich auf die Lebensdauer der Smart Meter (c. a. 15–20 Jahre) beschränken, aber bei der Beurteilung die Entwicklung hin zu einem «Smart Grid» – soweit heute abschätzbar – bereits berücksichtigen.

Die Einführung von Smart Metering ist mit zusätzlichen Kosten verbunden. Neue Zähler sind zu installieren, und neue Informations- sowie Kommunikationstechnologien müssen zur Verfügung gestellt werden. Smart Metering bringt aber auch zusätzlichen Nutzen, wie z. B.

verbesserte Information und die Möglichkeit, mit neuen Tarifmodellen das Verhalten der Konsumenten im Hinblick auf Effizienzsteigerungen des Gesamtsystems besser zu beeinflussen. Welche Kosten- und Nutzenkomponenten im Rahmen dieser Studie analysiert werden, zeigt Figur 1.

Das Impact Assessment bewertet fünf Szenarien, die es erlauben, die Auswirkungen einer Einführung von Smart Metering auf die unterschiedlichen Akteure der Schweizer Energiewirtschaft (z. B. Haushalte, Unternehmen und Energieversorger) über den gesamten Zeitraum von 2015 bis 2035 zu betrachten («Status quo», «Status quo +», «Selektive Einführung», «Flächendeckende Einführung», «Flächendeckende Einführung +»).

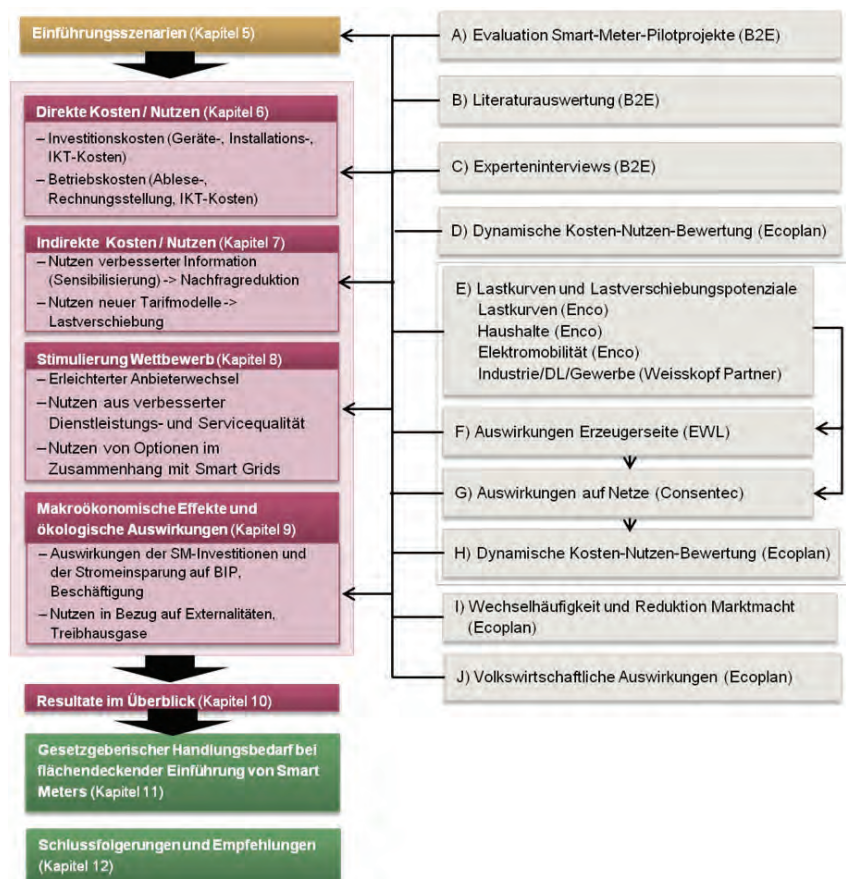
Figur 2 zeigt die Zusammensetzung der direkten Kosten und Nutzen der fünf Szenarien, ausgedrückt in Nettobarwerten der kumulierten Ausgaben zwischen 2015 und 2035:

- Die direkten Gerätekosten sind, verglichen mit der Summe der anderen Kosten, relativ gering.
- Ins Gewicht fallen vor allem die Installationskosten, die bei Smart Metern grösser sind als bei mechanischen Zählern. Dies ist der Fall, da die Installation der Smart Meter aufwendiger ist und die Zähler wegen der geringeren erwarteten Lebensdauer häufiger ersetzt werden müssen.
- Bei den Ablesekosten und den Umzugsprozessen lassen sich durch Smart Metering beträchtliche Einsparungen erzielen.
- Die direkten Kosten einer Smart-Meter-Infrastruktur sind hoch – aber auch die eines Beibehaltens des Status Quo. Die Zusatzkosten für eine flächendeckende Einführung im Vergleich mit dem Status quo sind mit rund 900 Mio. CHF (über die Jahre 2015 bis 2035) relativ gering.

Die direkten Kosten und Nutzen verteilen sich nicht gleichmässig auf die einzelnen Netzbetreiber. Netzbetreiber in ländlichen Gegenden haben höhere Kosten als Netzbetreiber in städtischen Gebieten. Dies würde sich bei einer «flächendeckenden Einführung» im Vergleich zum «Status quo» noch verstärken: Die direkten Kosten pro Zähler steigen in städtischen Gebieten durchschnittlich um rund 8 CHF pro Zähler/Jahr (+20 %) und in ländlichen Gebieten um 13 CHF pro Zähler und Jahr (+25 %).

Smart Meter bieten Anreize für Strom einsparungen und Lastverschiebungen. Dies hat Auswirkungen auf die Netze und die Erzeugungsseite. Diese Auswirkungen wurden mittels computergestützter Simulationsmodelle berechnet.

Bei einer «flächendeckenden Einführung» von Smart Metern kann ein Lastverschiebungspotenzial in der Grössenordnung von 1 GW realisiert werden (bei einer Verschiebedauer von 1 h). Dies sind immerhin rund 10 % der heutigen Last aller Endkonsumenten. Trotz des



Figur 1: Bewertete Kosten und Nutzen und methodisches Vorgehen [4].

beträchtlichen Verschiebepotenzial sind – gestützt auf Modellrechnungen – die Auswirkungen auf die Netze und auf die Erzeugungsseite relativ gering (tiefer zweistelliger Millionenbetrag).

Bei einer «flächendeckenden Einführung» von Smart Metern verringert sich die gesamte Stromnachfrage um rund 1,8 %. Diese relativ bescheidene Stromnachfragereduktion ist u.a. darauf zurückzuführen, dass die Grossverbraucher schon heute mit Mess- und Steuerapparaturen ausgerüstet sind und mit Smart Metern bei diesen keine zusätzlichen Anreize zum effizienten Stromverbrauch geschaffen werden. Der Nutzen ist – trotz relativ geringer prozentualer Einsparung – hingegen bedeutend: Bei einem flächendeckenden Rollout kann für die Konsumenten mit einem Nutzen im Umfang von 2,5 Mrd. CHF gerechnet werden. Die Konsumenten brauchen weniger Strom und haben dementsprechend eine geringere Stromrechnung.

Es zeigt sich deutlich, dass die indirekten Nutzen durch die Gewinne der Schweizer Stromkonsumenten (Konsumentenrenten) dominiert werden. Insbesondere gilt dies für die privaten Haushalte und die Dienstleistungen. Die Einsparungen bei den Netzkosten sind deutlich geringer. Die Schweizer Produzenten haben mit Einbussen zu rechnen.

Die Resultate unterscheiden sich zwischen den beiden Nachfrageszenarien «Weiter wie bisher» und «Neue Energiepolitik» relativ stark: Generell sind die Stromeinsparungen im Szenario «Neue Energiepolitik» zwar relativ gesehen gleich hoch wie bei «Weiter wie bisher», aufgrund der höheren Stromnachfrage im «Weiter wie bisher» sind aber die absoluten Stromeinsparungen höher. Dies ist einer der Hauptgründe, wieso die indirekten Nutzen aus der Stromeinsparung im Szenario «Neue Energiepolitik» kleiner ausfallen als im Szenario «Weiter wie bisher».

Smart Metering alleine kann den Wettbewerb nicht stimulieren, aber Voraussetzungen schaffen, damit die beabsichtigte Marktliberalisierung auch tatsächlich mehr Wettbewerb und Dynamik in den Strommarkt bringt. Drei Aspekte werden in diesem Zusammenhang vertieft analysiert:

Kostenart	Status quo	Status quo +	Selektive Einführung	Flächendeckende Einführung	Flächendeckende Einführung +
alle Angaben in NBW 2015	Mio. CHF	Mio. CHF Diff. Status quo	Mio. CHF Diff. Status quo	Mio. CHF Diff. Status quo	Mio. CHF Diff. Status quo
Investitionskosten	1'482	1'482	1'912	2'572	2'572
Gerätekosten dezentrale Infrastruktur	472	472	530	784	784
Installationskosten	1'009	1'009	1'294	1'514	1'514
Kosten zentrale Infrastruktur	0	0	88	275	275
Wertverlust aufgrund vorzeitiger Ersatz	0	0	17	133	133
Betriebskosten	516	516	518	472	472
Eigenverbrauch Zähler	193	193	201	221	221
Kundensupport	323	323	294	184	184
Sicherheit und Datenschutz	0	0	5	6	6
Soft- und Hardwareunterhalt	0	0	18	61	61
Kommunikationskosten	0	0	9	39	52
Geschäftsprozesse	2'321	2'321	2'204	1'768	1'768
Ablesekosten	433	433	376	164	164
Rechnungsstellung	1'213	1'213	1'213	1'213	1'213
Umsatzprozess	675	675	615	391	391
Effizienzkampagnen	0	124	130	218	218
Zusatzkosten dynamische Tarife	0	0	0	0	20
Total	4'319	4'443	4'790	5'202	5'236

Figur 2: Vergleich der direkten Kosten und Nutzen der Szenarien (in Mio. CHF, Nettobarwert 2015 der kumulierten Kosten/Nutzen 2015–2035) [4].

Mit Smart Metern wird der Anbieterwechsel effizienter. Dies konnte grob monetarisiert werden, allerdings sind die Unsicherheiten gross. Am meisten Wechselkosten lassen sich bei einem flächendeckenden Rollout einsparen (Nettobarwert von rund 150 Mio. CHF für das flächendeckende Rollout, kumulierter Wert über die Periode 2015 bis 2035).

Smart Metering kann über kundenspezifische Angebote, erhöhte Preissensibilität der Kunden und einem verbesserten Informationsstand eine allfällig vorhandene Marktmacht der Stromanbieter reduzieren. Diese positiven ökonomischen Auswirkungen lassen sich allerdings nicht monetarisieren. Zu erwähnen ist, dass die Ausgestaltung des Liberalisierungsprozesses im Hinblick auf eine allfällige Marktmacht bestimmend ist. Smart Metering ist einer der vielen Bausteine, der zu einem guten Funktionieren eines kompetitiven Strommarktes beiträgt.

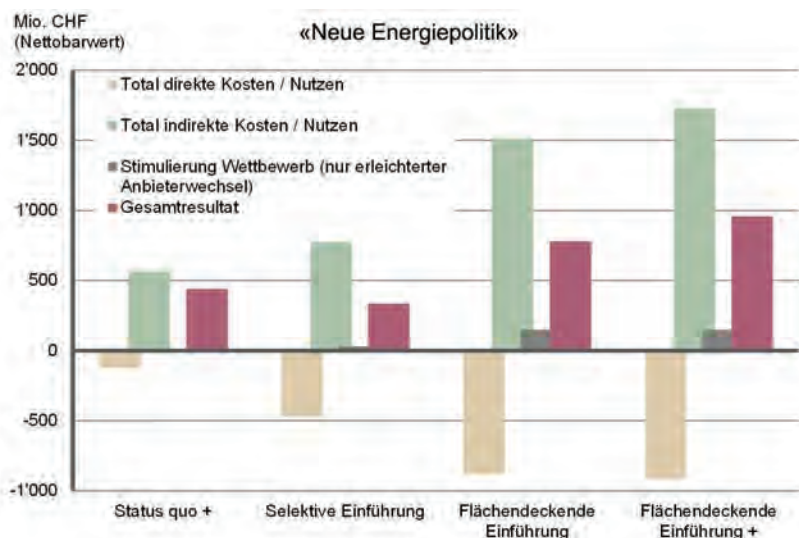
Mit Smart Metering werden viele neue Dienstleistungen möglich (z. B. flexiblere Tarifgestaltung, «Smart-Home» Dienstleistungen, transparenteres Abrechnungswesen, automatisierte Energieberatung, usw.). Diese Smart-Market-Aktivitäten sind wichtig in Bezug auf

einen sich dynamisch entwickelnden Strommarkt. Welchen Nutzen diese Dienstleistungen künftig stiften können, ist aber heute noch nicht absehbar. Auf eine Monetarisierung dieser Nutzen muss verzichtet werden.

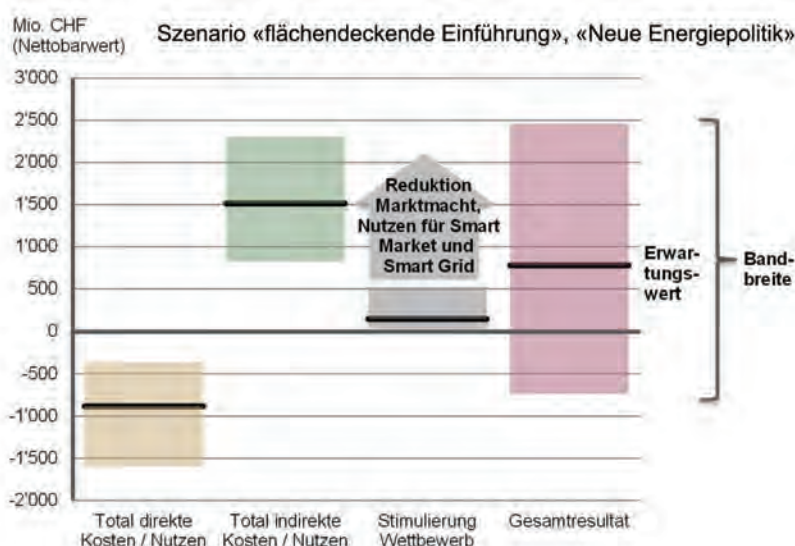
«Smart Meter» sind keine Voraussetzung für ein «Smart Grid». Die netzseitigen Nutzen von Smart Meter sind in einer effizienteren Ausnutzung von Netzkapazitäten (bereits bei den indirekten Nutzen berücksichtigt), in erhöhter Netzsicherheit, oder in einer kostengünstigeren Einbindung von Kleinsterzeugern zu suchen. Weiter ermöglicht Smart Metering die Teilnahme von weiteren Akteuren (z. B. in der Bündelung der Nachfrage durch Aggregatoren oder in der Bündelung von dezentralen Erzeugern durch «virtuelle Kraftwerke») am Markt für Regelleistung.

Von einem flächendeckenden Rollout über die Periode 2015 bis 2035 erwartet die Studie ein positives Kosten/Nutzen-Resultat, in sehr langer Frist ein klar positives Resultat.

Für das Nachfrageszenario «Neue Energiepolitik» stellt Figur 3 die direkten und indirekten Kosten und Nutzen für die einzelnen Rollout-Szenarien zusammen. Sie zeigt, dass der grösste Gesamtnutzen bei einer flächendeckenden Einführung



Figur 3: Gesamte Kosten und Nutzen für die verschiedenen Szenarien im Vergleich zum Status Quo (in Mio. CHF; Nettobarwert 2015 der kumulierten Kosten/Nutzen 2015–2035) [4].



Figur 4: Gesamte Kosten/Nutzen (mit Bandbreiten) für das Szenario «flächendeckende Einführung» (in Mio. CHF; Nettobarwert 2015 der kumulierten Kosten/Nutzen 2015–2035) [4].

erwartet werden kann, dies auch im Vergleich zu einem optimierten Status Quo, bei der allein mit Effizienzkampagnen der effiziente Stromeinsatz gefördert wird.

Figur 4 zeigt die erwarteten Kosten, Nutzen und Gesamtergebnisse und die Unsicherheit über grob abgeschätzte Bandbreiten. Beim Nachfrageszenario «Neue Energiepolitik» muss im ungünstigsten Fall mit einem negativen Nutzen/Kosten-Verhältnis gerechnet werden. Das ma-

ximale monetarisierbare Risiko beträgt rund 700 Mio. CHF, aufsummiert über die nächsten 20 Jahre. Diesem Risiko sind aber auch die nicht monetarisierten Chancen des durch Smart Metering stimulierten Wettbewerb gegenzurechnen.

Es wird festgestellt, dass das Risiko beschränkt und das Chancenpotenzial eines flächendeckenden Rollouts relativ bedeutend sind. Dies lässt den Schluss zu, dass, wenn ein Rollout von Smart Metern ansteht, dieser möglichst flä-

chendeckend erfolgen sollte. Ein weiterer Grund für das flächendeckende Rollout ist, dass ein selektives Einführung nicht in jedem Fall besser ist als ein «Status Quo +».

Der Hauptnutzen fällt bei Endkonsumenten an, da diese direkt von einer tieferen Stromrechnung profitieren. Hauptkosten haben unter heutigem Regulativ die Netzbetreiber zu tragen, da diese die direkten Zusatzkosten nicht den Stromkonsumenten verrechnen können.

Ein flächendeckendes Rollout hat zwar keine grossen, aber doch leicht positive Effekte auf die Schweizer Wirtschaft: Output und Wertschöpfung können mit einer flächendeckenden Einführung um 0,02 % gesteigert werden. Insgesamt werden rund 650 Arbeitsplätze geschaffen. Relativ nehmen in der Energiewirtschaft und der Kommunikationsapparateindustrie die Arbeitsplätze am deutlichsten zu (+0,14 %).

Durch Smart Metering wird in der Schweiz Strom gespart. Gemäss Modellberechnungen führt dies vor allem zu einem Rückgang der Stromimporte. Wie schon erwähnt, profitieren davon in erster Linie die Schweizer Stromkonsumenten, unsere Nachbarländer dürfen aber mit einem Rückgang bei der fossilen Stromproduktion rechnen und damit mit geringeren externen Kosten.

Aus den Untersuchungen können folgende Schlussfolgerungen und Empfehlungen formuliert werden:

- Ein Rollout kann für die Schweiz aus volkswirtschaftlicher Sicht empfohlen werden.
- Wenn ein Rollout umgesetzt wird, dann ein flächendeckendes.
- Ein Zeithorizont für das Rollout soll vorgeben und Sanktionen vorsehen werden.
- An «Smart Meter» müssen minimale funktionale Anforderungen gestellt werden.
- Es müssen Anreize zur Beeinflussung der Nachfrage (Demand Response) gefördert werden.
- Ein «Smart-Metering»-Rollout ist ein zentraler Baustein der Energiestrategie 2050.

GridBox – Netzbasierte Echtzeit-Erfassung des Verteilnetzzustandes und erste Praxistests

GridBox [10, 11] ist ein umfassendes «Smart-Grid»-Management-System, welches die zukünftigen Anforderungen an Verteilnetze erfüllt. Es bildet eine verteilte, kommunizierende Infrastruktur welche den Zustand des Verteilnetzes überwacht und geeignete Massnahmen zur Stabilisierung auslösen kann. Das System stellt einen herstellerunabhängigen Standard von Netzbetreibern dar. Offene Schnittstellen erlauben Erweiterungen und eine einfache Einbindung von Drittsystemen.

Die GridBox ist Messpunkt für den Netzzustand als auch Schnittstelle zur Beeinflussung der für den Betrieb und die Stabilität relevanter Akteure und Parameter. Sie stellt somit die lokale physische Präsenz des Netzmanagementsystems dar. Sie wird dabei sowohl an strategischen Punkten im Verteilnetz selber als auch direkt bei den Stromproduzenten und -konsumenten installiert. Ein Kommunikationsnetz zwischen den einzelnen Knoten ermöglicht das Zusammenfügen der beschränkten lokalen Sicht zu einem vollständigen Gesamtbild sowie koordiniertes Vorgehen bei der Regelung und Steuerung.

Die von den verteilt installierten GridBoxen zusammengetragenen Messwerte werden in ein Modell des physischen Stromnetzes importiert, um den komplet-

ten Systemzustand eines Netzabschnitts zu ermitteln. Dies ermöglicht die Detektion von ausreissenden Messwerten und erlaubt, kritische Netzparameter auch an nicht messbaren Stellen zu bestimmen. Die Bestimmung des Systemzustandes und die zur Regelung benötigte Logik befinden sich in den GridBoxen. Diese Grundfunktionalität ist nicht abhängig von einer zentralen Überwachungs- und Steuerungsinfrastruktur. Dies ermöglicht die maximale Eigenständigkeit und Unabhängigkeit der einzelnen Netzteile und hält die Kommunikationswege und Reaktionszeiten kurz. Dadurch, dass die GridBox jedes Netzabschnitts nur die lokale Information bewältigen muss, steigt die Beherrschbarkeit der Datensicherheit und es sinkt die Komplexität und die zu verarbeitende Datenflut.

Anhand von Stabilitätskriterien und dem aus dem Modell ersichtlichen Zustand des Netzes werden in Echtzeit Engpässe und noch frei verfügbare Kapazitäten berechnet. Anhand der daraus gewonnenen Einsichten werden flexibilisierbare Netzteilnehmer so beeinflusst, dass sich das Netz zu jedem Zeitpunkt in einem sicheren und möglichst optimalen Betriebspunkt befindet. Das System erlaubt die Einführung von innovativen Tarif- und Preisstrukturen, welche dem in Zukunft erwarteten, geographisch

sowie zeitlich viel volatileren Angebot gerecht werden kann. Dadurch können den Netzteilnehmern starke Anreize geboten werden, das Verhalten zugunsten der Stabilität und Kosteneffizienz des Stromnetzes zu ändern.

Für die Demonstration des verteilten Messkonzeptes und der Netzmodellierung wurde ein reales Messgerät entwickelt, das in Figur 5 dargestellt ist. Dieser GridBox-Demonstrator wurde an mehreren Punkten in einem kleinen, zusammenhängenden Netzabschnitt installiert. Während einigen Tagen wurden Messdaten von Strom und Spannung zeitgleich aufgezeichnet, welche anschließend bezüglich ihrer Tauglichkeit für die Netzüberwachung und -modellierung untersucht wurden. Der Demonstrator sollte nicht nur Messwerte aufzeichnen können, sondern auch den Nachweis erbringen, dass eine GridBox mit geringem Leistungsverbrauch und tiefen Herstellungskosten machbar ist. Die Resultate der Entwicklung und der Auswertung der Messdaten zeigen ein realistisches Potenzial, ein GridBox-System mit vertretbaren Kosten entwickeln zu können, welches die beschriebenen Anforderungen erfüllt. Nach einer Konzeptphase [10] sowie der Erstellung eines konkreten Prototyps mit Messungen im realen Netz [11] soll 2013 ein Pilotversuch aufgebaut werden, um die Machbarkeit des Systems GridBox zu zeigen und die Entwicklung voranzutreiben.



Figur 5: Der im Rahmen dieses Projektes entwickelte GridBox-Demonstrator [11] misst dreiphasig Strom und Spannung mit hoher Abtastrate und beherbergt ein uLinux-System, auf welchem komplexe Applikationen und Signalverarbeitung entwickelt werden können. Messdaten können im Rohformat während 5 Tagen kontinuierlich aufgezeichnet werden.

Nationale Zusammenarbeit

Das Forschungsprogramm *Netze* pflegt seit vielen Jahren eine enge Zusammenarbeit und einen regen Austausch mit den für den Themenbereich relevanten Forschungsgruppen an der ETH Zürich (Proff. Andersson, Franck, Biela) und verschiedenen Fachhochschulen (BFH, FHNW, HES-SO, HSLU, SUPSI, ZHAW). Im Jahr 2013 wird angestrebt, auch den Kontakt zur ETH Lausanne auszubauen. Die geplante Schaffung neuer Kompetenzzentren im Rahmen des «Aktionsplans koordinierte Energieforschung Schweiz» [2], darunter auch eines im Bereich der Netze und Systeme, dürfte diese Anstrengungen positiv unterstützen.

Durch die aktive Zusammenarbeit zwischen der «Schweizerischen Gesellschaft für Netzinfrastrukturforschung» (SGN) und der ETH Zürich konnte 2012 die Geschäftsstelle der neugeschaffenen «Forschungsstelle Energienetze» (FEN) [12] mit ihren drei wissenschaftlichen Mitarbeitern die ers-

ten Forschungsprojekte bearbeiten. Im Auftrag von Swissgrid und des Bundesamts für Energie wurde beispielsweise der Einfluss geomagnetisch induzierter Ströme auf das Schweizer Übertragungsnetz [13] untersucht. Ausserdem wurden die Arbeiten zur Potenzialabschätzung biogener Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen im Schweizer Stromnetz aufgenommen. Die Resultate werden soweit wie möglich auch BFE-intern verwendet, so z. B. bei der Erarbeitung der «Smart Grids Roadmap» als Teil der Energiestrategie 2050.

Im Rahmen verschiedener Veranstaltungen und zahlreicher direkter Kontakte und Besuche wurde das Forschungsprogramm *Netze* vorgestellt und versucht, die verschiedenen Forschungsinstitutionen weiter zu vernetzen, z. B. im Rahmen des laufenden Pilotprojekts «Verteilte Einspeisung in Niederspannungsnetze» (VEIN) [14] oder des vom BFE und SER [15] unterstützen Projekts «Swiss2G» [16].

Internationale Zusammenarbeit

Bereits 2010 wurde mit der Bildung des «Implementing Agreement for a co-operative programme on Smart Grids» (ISGAN) [17] im Rahmen des «Clean Energy Ministerial» (CEM) begonnen, wobei auch einzelne Vertreter aus dem vorangehenden Implementing Agreement «Enard» federführend mitgewirkt haben. Bedeutend mehr Staaten als bei Enard haben das Vorhaben unterstützt und gemeinsam zu einem Implementing Agreement im Sinne der IEA weiterentwickelt, das 2011 verabschiedet und gestartet wurde. In seinem Fokus stehen übergeordnete Themen wie z. B. Regulierung, Standardisierung, Finanzierung oder auch die Rolle der Endnutzer. Insbesondere die beiden Annexes «Global Smart Grid Inventory» und «Benefit-Cost Analyses and Toolkits» sind von besonderem Schweizer Interesse, insbesondere im Sinne des BFE-Positionspapiers zu «Smart-Grids» oder der neuen Energiestrategie 2050. Aus diesem Grund hat die Schweiz ihre Teilnahme an ISGAN erklärt und die entsprechenden Arbeiten zu den Annexes aufgenommen. Die Schweizer Vertretung im Executive Committee von ISGAN wurde der Forschungsstelle Energienetze der ETH [12] übertragen.

Die Arbeiten zur Umsetzung des SET-Plans [6] der EU wurden fortgesetzt. Im Bereich der Netze fanden diese vorwiegend innerhalb der «European Electricity Grid Initiative» (EEGI) [18] und der «Smart Cities Initiative» (SCI) statt. Innerhalb des «EII-Teams» der EEGI wurde vor allem die Frage behandelt, wie laufende Aktivitäten in den einzelnen EU-Mitgliedstaaten und den assoziierten Ländern zu so genannten funktionalen Projekten kombiniert werden können, um ein Maximum aus den knapp vorhandenen Forschungsmitteln herauszuholen zu können. Entsprechend den Vorarbeiten des «Joint Research Centers» (JRC) und

des «Austria Institute of Technology» (AIT) wurden massgeblich ergänzt durch Beiträge der nationalen Experten, des «SmartGrids ERA-Net» [7], der «Kooperation D-A-CH Smart Grids» [9], des FP7-Projektes «GRID+» [19] und von ISGAN. Dabei hat sich auch die Schweiz aktiv beteiligt. Zur Deckung des bereits dabei identifizierten Forschungsbedarfs wurde das FP7-Arbeitsprogramm 2013 entsprechend angepasst und es konnten verschiedene Themen zur Unterstützung der EEGI ausgeschrieben werden.

Im Rahmen des «SmartGrids ERA-Net» wurden in den vergangenen Jahren zwei Ausschreibungen durchgeführt, wobei derzeit an allen genehmigten Projekten mit Schweizer Beteiligung erfolgreich gearbeitet wird. Aufgrund der positiven Evaluation des ERA-Nets durch die EU konnte die Laufzeit bis 2014 verlängert werden. Das ERA-Net soll sich künftig klar in den Aktivitäten rund um den SET-Plan positionieren und eine einzigartige, komplementäre Rolle einnehmen. Die Bildung eines ERA-Net+ wird dabei angestrebt.

Die 2009 geschlossene «Kooperation D-A-CH Smart Grids» [9] wurde in der Berichtsperiode entscheidend weiter entwickelt. Insbesondere konnten drei länderübergreifende «Task Forces» zu den wichtigen Querschnittsthemen Normierung und Standardisierung, Geschäftsmodelle sowie Daten aufgebaut und etabliert werden. Die Federführung der «Task Force Daten» obliegt Schweizer Branchenvertretern; die Teilnahme in den Task Forces steht nach wie vor allen Interessierten offen. Ein länderübergreifender Workshop, insbesondere zum Thema «Smart Grids Security» [20] hat im Rahmen der «Smart Grids Week 2012 Bregenz» [21] stattgefunden. Es konnten zahlreiche Schweizer Teilnehmer begrüsst werden.

Referenzen

- [1] Meteodat GmbH: Optimierung des Betriebes von Freileitungen aus meteorologischer Sicht, JB, 2012.
- [2] Aktionsplan Koordinierte Energieforschung Schweiz, 2012.
- [3] Konzept der Energieforschung des Bundes 2013–2016.
- [4] ETHZ, Ecoplan AG, Weisskopf Partner GmbH, ENCO AG: Folgeabschätzung einer Einführung von «Smart Metering» im Zusammenhang mit «Smart Grids» in der Schweiz, SB, 2012.
- [5] IEA: www.iea.org.
- [6] EU SET-Plan: ec.europa.eu/energy/technology/set_plan.
- [7] SmartGrids ERA-Net: www.eranet-smartgrids.eu.
- [8] BFE: Forschungskonzept 2013–2016 - Netze, 2012.
- [9] Kooperation DACH Smart Grids: www.smartgrids-dach.eu.
- [10] SCS AG, Bacher Energie: GridBox - Konzeptstudie, 2011.
- [11] SCS AG, Bacher Energie: GridBox – Netzbasierter Echtzeit-Erfassung des Verteilnetzzustandes, SB, 2012.
- [12] Forschungsstelle Energienetze: www.fen.ethz.ch.
- [13] ETHZ: Geomagnetisch induzierte Ströme im Schweizer Übertragungsnetz, SB, 2012.
- [14] Konsortium VEiN: VEiN – Verteile Einspeisung in Niederspannungsnetze, JB, 2011.
- [15] SER: www.swisselectric-research.ch.
- [16] SUPSI, Bacher Energie AG: Swiss2G, JB, 2011.
- [17] IEA ISGAN: www.iea-isgan.org.
- [18] EEGI: www.smart-grids.eu/?q=node/170.
- [19] EU Forschungsprojekt «GRID+»: www.gridplus.eu.
- [20] Fichtner IT-Consulting AG: Smart Grids Security, SB, 2012.
- [21] Smart Grids Week 2012 Bregenz: www.energiesystemeder-zukunft.at/results.html/id6505.

Laufende und im Berichtsjahr abgeschlossene Projekte

(* IEA-Klassifikation)

- **ALPENERGY – VIRTUAL POWER SYSTEMS AS AN INSTRUMENT TO PROMOTE TRANSNATIONAL COOPERATION AND SUSTAINABLE ENERGY SUPPLY IN THE ALPINE SPACE** R&D, Int 6.2
- | | | | |
|-----------|---|----------|------------------|
| Lead: | Università della Svizzera Italiana | Funding: | BFE, ARE, Kt. TI |
| Contact: | Umberto Bondi bondi@alari.ch | Period: | 2008–2012 |
| Abstract: | AlpEnergy addresses the need of balancing increased production of renewable energy sources. A concept introduced by the project, Virtual Power System (VPS), offers a solution by using ICT for an intelligent energy management. It focuses on both technical and economical aspects to introduce an efficient operational model that aims at a standardization of both technologies and procedures. | | |
- **ANALYSE DES FORSCHUNGSUMFELDS «SMART-GRIDS» IN DER SCHWEIZ UND IN EUROPA** R&D, Int 6.2
- | | | | |
|-----------|---|----------|-----------|
| Lead: | Bacher Energie AG | Funding: | BFE |
| Contact: | Rainer Bacher rainer.bacher@bacherenergie.ch | Period: | 2009–2012 |
| Abstract: | In this project a Smart Grids information base is built in cooperation with European SmartGrids re-search institutions from universities and other research organizations to facilitate the European Smart Grids research, deployment and demonstration and its coordination. | | |
- **BOOSTERCAP – DYNAMIC EXCITATION MODULE (DEM) TECHNOLOGY** R&D 6.2
- | | | | |
|-----------|--|----------|-------------|
| Lead: | Alstom Switzerland Ltd. | Funding: | BFE, Privat |
| Contact: | Stefan Keller stefan.sk.keller@power.alstom.com | Period: | 2011–2013 |
| Abstract: | With respect to low voltage ride-through requirements, the Critical Clearing Time (CCT) defines the maximum duration of a given voltage dip a generator can sustain without losing synchronism. In order to achieve higher CCT, a capacitor bank ("Dynamic Excitation Module") is proposed as a buffer system. | | |
- **BPES – OPTIMAL SIZING AND CONTROL OF BALANCING POWER IN THE FUTURE EUROPEAN POWER SYSTEM INCLUDING TRANSMISSION SYSTEM CONSTRAINTS** R&D, Int 6.2
- | | | | |
|-----------|---|----------|-------------|
| Lead: | ETH Zürich | Funding: | BFE, Privat |
| Contact: | Göran Andersson andersson@eeh.ee.ethz.ch | Period: | 2011–2014 |
| Abstract: | The aim of the project is to determine optimal sizing and control of balance power in the future European power system considering transmission system constraints. | | |

- **EINFLUSS GEOMAGNETISCH INDUZIERTER STRÖME AUF DAS SCHWEIZER STROMNETZ** R&D 6.2
- Lead: ETH Zürich
- Contact: Turhan Demiray demirayt@fen.ethz.ch
- Funding: BFE, Privat
- Period: 2012
- Abstract: Strong solar storms causing geomagnetic disturbances (GMD) are capable of disrupting power grid operation through electromagnetic interaction. This project gives an overview of the GMD physical process and its influence on power systems, describes the countermeasures which have been formulated based on utilities' industrial experience and assesses the effects that such phenomena could have on the Swiss Transmission Network.
- **ENTWICKLUNG EINER KOSTENOPTIMIERTEN SALZ-BATTERIE-ZELLE FÜR DIE NETZANWENDUNG** R&D 6.2
- Lead: Battery Consult Sagl
- Contact: Cord-Henrich Dustmann cdustmann@bluewin.ch
- Funding: BFE, Privat
- Period: 2011–2012
- Abstract: The project aims at developing a cost-optimized Na/NiCl₂ salt battery design for the direct use in electricity distribution grids. At present only concepts for mobile application are existing.
- **FLEXLAST – ERZEUGUNG VON SEKUNDÄR-REGELLEISTUNG DURCH EIN DYNAMISCHES LASTMANAGEMENT BEI GROSSVERBRAUCHERN** P&D 6.2
- Lead: IBM Schweiz AG
- Contact: Norbert Ender Norbert.Ender@ch.ibm.com
- Funding: BFE, Privat
- Period: 2012–2013
- Abstract: Mit dem Projekt wollen Migros, BKW, Swissgrid und IBM das Potenzial von «Smart-Grid» Technologien bei Grossverbrauchern adressieren; es soll die Entwicklung eines Smart Grid in der Schweiz unterstützen. Im Pilotprojekt werden die Kühlhäuser des Migros-Vertriebsbetriebs Neuendorf (MVN) zur Erzeugung von Sekundär-Regelleistung genutzt.
- **FOLGEABSCHÄTZUNG EINER EINFÜHRUNG VON «SMART METERING» IM ZUSAMMENHANG MIT «SMART GRIDS» IN DER SCHWEIZ** R&D 6.2
- Lead: ETH Zürich; CONSENTEC GmbH; VISCHER AG
- Contact: Thorsten Staake tstaake@ethz.ch
- Funding: BFE
- Period: 2011–2012
- Abstract: The project goal is to define different smart metering roll-out scenarios for Switzerland and to rate them with respect to economic, social and ecologic costs and benefits. It will be derived to which (market) player role costs and benefits are related.
- **GEOGREEN – OPTIMIZING GREEN ENERGY AND GRID LOAD BY GEOGRAPHICAL STEERING OF ENERGY CONSUMPTION** R&D, Int 6.2
- Lead: Università della Svizzera Italiana, ALaRI
- Contact: Umberto Bondi bondi@alari.ch
- Funding: BFE
- Period: 2010–2013
- Abstract: The project aims at bringing another approach to energy balance and overall power system stability. Introducing a concept of mobile consumer, it considers consumption and mobility, both in terms of time and space. In particular, electric vehicles and data centers processing tasks as typical cases of mobile consumers are considered.
- **GRIDBOX – KONZEPTSTUDIE / NETZBASIERTE ECHTZEIT-ERFASSUNG DES VERTEILNETZZUSTANDES UND ERSTE PRAXISTESTS** R&D 6.2
- Lead: Super Computing Systems AG; Bacher Energie AG
- Contact: Stephan Moser stephan.moser@scs.ch
- Funding: BFE, Privat
- Period: 2011–2012
- Abstract: A monitoring and control infrastructure for the future electricity grids will be defined and tested. It consists of intelligent low-cost "GridBoxes". The goal is high operational grid stability with masses of decentralized electricity infeeds and flexible consumer equipment in an automated end-consumer market considering minimization of costs.
- **HVDC NETWORKS** R&D, Int 6.2
- Lead: ETH Zürich
- Contact: Christian Franck cfranck@ethz.ch
- Funding: BFE, Privat
- Period: 2011–2015
- Abstract: The primary aim of the project is to contribute to answer the question: "Under which conditions is a true HVDC network of advantage compared to a strengthened AC network and what would be the preferred scheme?"

● **IEA ISGAN ANNEX 1 – GLOBAL «SMART-GRID» INVENTORY**

R&D, Int 6.2

Lead: Bacher Energie AG

Funding: BFE

Contact: Rainer Bacher rainer.bacher@bacherenergie.ch

Period: 2012–2014

Abstract: The ISGAN Annex 1 consists of three tasks. Task 1 entails development and population of a unified ISGAN framework for assessment of national-level motivating drivers and technology priorities for smart grids. Task 2 concerns development of the initial project inventory. Task 3 adds a quantitative layer using key performance indicators identified by ISGAN Annex 3.

● **IEA ISGAN ANNEX 3 – BENEFIT AND COST ANALYSES AND TOOLKITS**

R&D, Int 6.2

Lead: ETH Zürich

Funding: BFE

Contact: Turhan Demiray demiray@fen.ethz.ch

Period: 2012–2016

Abstract: The objective is to develop a global framework and related analyses that can identify, define, and quantify in a standardized way the benefits that can be realized from the demonstration and deployment of smart grids technologies and related practices in electricity systems. The Annex will leverage existing knowledge and experience gained, e.g., in different participating countries.

● **IMPROSUME – THE IMPACT OF PROSUMERS IN A «SMART-GRID» BASED ENERGY MARKET**

R&D, Int 6.2

Lead: Universität St. Gallen; Bacher Energie AG

Funding: BFE

Contact: Moritz Looch moritz.looch@unisg.ch

Period: 2010–2012

Abstract: "Prosumer" is an emerging concept in the power market that applies to consumers of energy that can also be producers. In a Smart Grid a prosumer can be a new and active participant in balancing the electricity system. An important requirement is acceptance and active adoption of the new possibility by the prosumer. This project focuses on prosumers and their role's impact on established structures will be highlighted.

● **LEITUNG UND KOORDINATION DER SCHWEIZER TASK FORCES DER «KOOPERATION D-A-CH SMART GRIDS»**

Int 6.2

Lead: VSE, Electrosuisse

Funding: BFE, Privat

Contact: Hendrik La Roi hendrik.laroi@strom.ch

Period: 2011–2013

Abstract: The «Kooperation D-A-CH Smart Grids» is based on a Memorandum of Understanding between the three neighboring European countries Germany, Austria and Switzerland. The main goal of this MoU is to closely collaborate in the field of R&D and dissemination in the emerging smart grids area. In order to coordinate the work of specific cross-cutting topics four task forces has been established.

● **OPTIMIERUNG DES BETRIEBES VON FREILEITUNGEN AUS METEOROLOGISCHER SICHT**

R&D 6.2

Lead: Meteodat GmbH

Funding: BFE, Privat

Contact: Urs Steinegger steinegger@meteodat.ch

Period: 2012–2015

Abstract: The project will deliver methods to calculate and predict the change in conductor temperature with changing weather conditions. This will help to improve the use of existing overhead power lines without compromising the safety. Weather-related loads on overhead lines may influence the operation or even damage the infrastructures. A high-resolution weather forecast model will be tested and improved to foresee wet snow and in-cloud icing events.

● **POTENZIAL DER SCHWEIZER INFRASTRUKTURANLAGEN ZUR LASTVERSCHIEBUNG**

R&D 6.2

Lead: InfraWatt

Funding: BFE

Contact: Ernst A. Müller mueller@infrawatt.ch

Period: 2011–2013

Abstract: In future, the infrastructure plants, so the wastewater treatment plants, water industries and waste incineration plants have an installed electrical power of approximately 1 GWel. The aim of this research is the investigation of the real capacities for the supply of (positive and negative) operating reserve / controlling power range for Switzerland.

● **POWER ELECTRONIC CONVERTER SYSTEMS FOR ENERGY STORAGE BASED ON SPLIT BATTERIES**

R&D 6.2

Lead: ETH Zürich

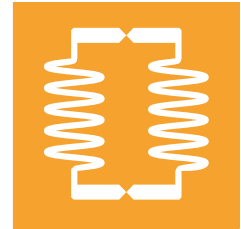
Funding: BFE, Privat

Contact: Jürgen Biela jbiela@ethz.ch

Period: 2012–2015

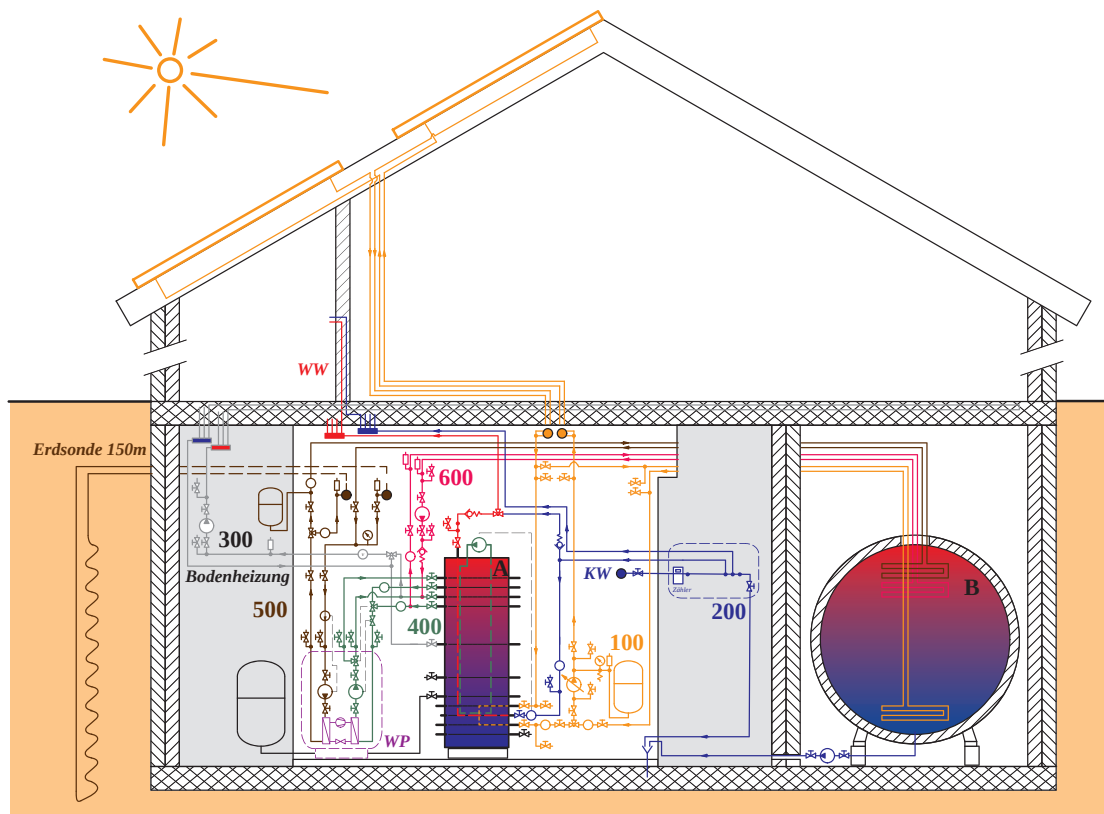
Abstract: In the project, highly efficient and reliable power electronic converter systems for modular energy storage systems applied in medium voltage grids are investigated. The new solutions are comprehensively modelled and optimised for efficiency. For evaluating the performance of the new concepts, these are compared to existing solutions. Based on the optimal solution, a medium voltage prototype is built and control issues are investigated.

- **PROJEKTLEITUNG «KOOPERATION D-A-CH SMART GRIDS»** Int 6.2
- | | | | |
|-----------|--|----------|-----------|
| Lead: | Encontrol AG | Funding: | BFE |
| Contact: | Alois Huser
alois.huser@encontrol.ch | Period: | 2009–2013 |
| Abstract: | The «Kooperation D-A-CH Smart Grids» is based on a Memorandum of Understanding between the three neighboring European countries Germany, Austria and Switzerland. The main goal of this MoU is to closely collaborate in the field of R&D and dissemination in the emerging smart grids area. Encontrol AG is mandated by SFOE to coordinate the Swiss activities and contributions. | | |
- **«SMART-GRID»-POLYSUN – DESIGNTOL FÜR LOKALES LASTMANAGEMENT** R&D, Int 6.2
- | | | | |
|-----------|--|----------|-------------|
| Lead: | ETH Zürich | Funding: | BFE, Privat |
| Contact: | Göran Andersson
andersson@eeh.ee.ethz.ch | Period: | 2011–2014 |
| Abstract: | In this project, the software tool Polysun is extended to support the planning and evaluation of local load management and energy optimization. The goal is to improve the concurrency of PV and wind power with electrical loads and to use thermal masses in buildings (e.g. hot water storage tanks or refrigerators) for the load balancing of the power grid. | | |
- **SMARTGEN – EFFICIENT IDENTIFICATION OF OPPORTUNITIES FOR DISTRIBUTED GENERATION BASED ON «SMART-GRID» TECHNOLOGY** R&D, Int 6.2
- | | | | |
|-----------|--|----------|-------------|
| Lead: | Bacher Energie AG | Funding: | BFE, Privat |
| Contact: | Rainer Bacher
rainer.bacher@bacherenergie.ch | Period: | 2010–2013 |
| Abstract: | SmartGen develops prototype tools for the identification of optimal distribution grids and the connection of distributed generation stations. An indirect goal of the project is to speed up the introduction of SmartGrids Technologies in Europe by modern ICT (Information and Communication Technology) based tools. SmartGen is a cooperative project of partners in NO, DK, Latvia and CH. | | |
- **SWISS2G** P&D 6.2
- | | | | |
|-----------|---|----------|------------------|
| Lead: | SUPSI; Bacher Energie AG | Funding: | BFE, SER, Privat |
| Contact: | Roman Rudel
roman.rudel@supsi.ch | Period: | 2009–2014 |
| Abstract: | Field test and simulations with distributed generation units and electric vehicles in order to investigate their impacts on the electrical distribution grid. In a first step the influence of distributed generation units and electric vehicles to the grid will be measured with highly accurate phasor, frequency and voltage measurement devices. In a second step simulation specialists will elaborate models to reproduce these measured phenomena. | | |
- **SYSTEM MODELLING FOR ASSESSING THE POTENZIAL OF DECENTRALIZED BIOMASS-CHP PLANTS** R&D 6.2
- | | | | |
|-----------|---|----------|-------------|
| Lead: | ETH Zürich | Funding: | BFE, Privat |
| Contact: | Konstantinos Boulouchos
boulouchos@lav.mavt.ethz.ch | Period: | 2012–2015 |
| Abstract: | An increasing share of fluctuating renewable electricity production (photovoltaic, wind) asks for grid stabilising measures. Decentralised biogenic combined heat and power (CHP) plants could play a significant role in this context. The development of a CHP swarm model based on geographical distributed information about energy sources and transmission infrastructure allows assessing the potenzial of this concept for Swiss regions. | | |
- **VEIN – VERTEILTE EINSPEISUNGEN IN NIEDERSPANNUNGSNETZE** R&D, P&D 6.2
- | | | | |
|-----------|---|----------|-------------|
| Lead: | Konsortium VEIN | Funding: | BFE, Privat |
| Contact: | Gilbert Schnyder
gilbert.schnyder@sing.ch | Period: | 2009–2014 |
| Abstract: | In the future renewable energy sources as well as heat power cogeneration will be used more and more for decentralized energy production. The system operators have therefore an interest to detect their effects on the operation of distribution grids as well as the new challenges in planning and dimensioning of assets and any necessary adjustments in the standards. The aim is to prepare the accordingly necessary knowledge and to gain experience. | | |
- **WARMUP – OPTIMALE NETZREGELUNG IM WÄRMEPOOL** R&D 6.2
- | | | | |
|-----------|--|----------|-------------|
| Lead: | Misurio AG | Funding: | BFE, Privat |
| Contact: | Samuel Pfaffen
samuel.pfaffen@misurio.ch | Period: | 2012–2013 |
| Abstract: | The project aims at exploiting the flexibility of a pool of thermal storage devices for balancing the electrical grid. A high level intelligent system aggregates the existing flexibility, generates best bids on behalf of the system operator and guarantees an optimal overall operation. The project investigates economical, physical and legal requirements which guarantee a sustainable implementation. It is the starting point for a pilot. | | |



Stephan Renz

Wärmepumpen und Kälte



Solarkollektoren und Wärmepumpen mit 28 m³-Speicher im Praxistest

Trotz hoher Qualität der Einzelkomponenten funktionieren kombinierte Systeme in der Praxis mit konventioneller Heizungssteuerung nicht effizient. Die Voraussetzungen für einen optimalen Abgleich der Systeme wurde im Projekt *OPTIGEN* [8] untersucht. Das Titelbild zeigt das hydraulische Schema der technischen Anlage des Pilotobjekts. Gelb: Solarkreislauf; blau: Kaltwasser; pink: Saisonspeicher «B» zu Nutzspeicher «A»; braun: Vom Saisonspeicher zur Wärmepumpe; grün: Von der Wärmepumpe zum Nutzspeicher (zwei Schichthöhen); grau: Bodenheizung; rot: sanitäres Warmwasser.

Einleitung

Wärmepumpen werden als hoch effiziente Energieanlagen in zig-tausend Anwendungen eingesetzt. Aktuell sind in der Schweiz über 200'000 Wärmepumpen installiert. Jährlich werden rund 20'000 Stück verkauft. Einen sehr hohen Anteil und auch einen starken Zuwachs weisen Wärmepumpen im Bereich der Gebäudebeheizung auf. So wurden in der Schweiz 2012 insgesamt 19'443 Wärmepumpen neu installiert. Dies entspricht ungefähr dem durchschnittlichen jährlichen Zubau der letzten 5 Jahre [1]. Es entstehen jedoch zunehmend höhere Anforderungen an die Effizienz und die Flexibilität der Systeme. Durch die Zielsetzung, den Stromverbrauch zu reduzieren, müssen die Systeme möglichst über das ganze Einsatzprofil eine hohe Leistungsziffer ausweisen. Die Energieversorgung der Gebäude erfolgt vielfach durch mehrere Energiesysteme und es entstehen Kombinationen von Wärmepumpen mit Solarthermie oder auch mit Fotovoltaik. Die Effizienz der Wärmepumpenanlage hängt auch von den Eigenschaften der Wärmequelle und der Wärmesenke ab. Diese werden durch den Standort des Gebäudes (welche Wärmequelle ist verfügbar?) und die Art des Gebäudes (Art der Beheizung, Leistungsbedarf und Temperaturbedarf) bestimmt. Es geht also darum, bestmögliche Installations- und Betriebskonzepte zu finden und diese im Markt zur Anwendung bringen.

Wärmepumpen können jedoch auch in vielen Industrieanwendungen eingesetzt werden und helfen den Energieverbrauch zu senken. In der Industrie, im Gewerbe und teilweise in Dienstleistungsbetrieben werden auch Kältemaschinen benötigt. Sie dienen zur Kühlung von Räumen, Medien und Produkten bis zu tiefsten Temperaturen. Auch hier gelten die gleichen Herausforderungen wie bei Wärmepumpen: hohe Effizienz und

optimale Einbindung in die Prozesse.

Ein besonders Augenmerk gilt den Kältemitteln. Zu beachten sind die Eigenschaften, die für das vorgesehene Einsatzgebiet der Wärmepumpen oder der Kältemaschinen erforderlich sind sowie das Umweltschädigungs- und Gefahrenpotenzial der Kältemittel. Eine kritische Grösse ist deren Treibhausgaspotenzial.

Werden die vorgenannten Herausforderungen der Wärmepumpen beherrscht, können diese einen wichtigen Betrag zur Energiestrategie 2050 des Bundes leisten und den Verbrauch an fossilen Energieträgern senken.

In der Schweiz sind zahlreiche Firmen vorhanden, welche in der Entwicklung und in der Herstellung von Komponenten sowie in der Fertigung von Serienprodukten aber auch von Anlagen tätig sind. Damit wird ein Leistungsspektrum vom Kilowatt bis zum Multi-Megawatt-Bereich abgedeckt. Hinzu kommt ein hoher Wissenstand in Entwicklungsbüros sowie in der Lehre und in der Forschung an Hochschulen. Dies zeigt sich beispielsweise auch in der Mitarbeit und der Leitung von Forschungsprojekten der Internationalen Energieagentur (IEA) durch Schweizer Forschende.

Das Bundesamt für Energie (BFE) unterstützt zahlreiche Projekte, welche die vorgenannten Herausforderungen angehen. Die Ziele der Forschungsunterstützung sind im Detailkonzept des Forschungsprogramms *Wärmepumpen und Kälte* festgelegt [2].

Im vorliegenden Jahresbericht informieren wir über unsere Forschungsziele und Schwerpunkte sowie einige Highlights aus laufenden Forschungsprojekten. Eine Zusammenstellung sämtlicher Forschungsprojekte ist am Schluss aufgelistet und Berichte über die Projekte sind auf der Website des BFE [3] verfügbar.

IEA Klassifikation: 3.7 Other Renewables

Schweizer Klassifikation: 2.3 Umgebungswärme

Programmschwerpunkte

Das Forschungsprogramm *Wärmepumpen und Kälte* fördert gemäss dem Energieforschungskonzept des Bundes [4] und dem dazugehörigen Detailkonzept [2] die Entwicklung von modernen Heiz- und Kühlsystemen. Mittelfristig soll keine fossile Energie mehr direkt für Heizzwecke eingesetzt werden. Heute wird im Sektor Haushalte immer noch rund 60 % fossile Energie vor allem für Heizzwecke eingesetzt [5]. Erst ca 15 % des Energieverbrauches der Haushalte stammt aus erneuerbarer Energie. In der Kälteerzeugung und -anwendung ist eine Energieeinsparung von ca. 25 % möglich [6]. Diese Ziele können über eine verbesserte Effizienz der Komponenten und eine optimierte Systemintegration erreicht werden. Kostenreduktionen sind Voraussetzungen, um eine rasche Marktpenetration zu erreichen. Diese können durch Standardisierung der Komponenten und Systeme erreicht werden.

Forschungsschwerpunkte der Periode 2008 bis 2012 sind:

- Verbesserung der Komponenten und der thermodynamischen Kreisprozesse bei Wärmepumpen und Kälteanlagen;
- Ganzheitliche Systemoptimierung von Wärmepumpen und Kälteanlagen auch bezüglich Integration mit Solaranlagen und Speicher;
- Hocheffiziente Systeme für Warmwasseraufbereitung;
- Miniaturisierung und neue Wege für den Einbau von Heiz- und Kühlsystemen mit Wärmepumpen (plug and heat);
- Umweltverträgliche Arbeitsmedien für Wärmepumpen und Kältemaschinen.

Rückblick und Bewertung 2012

Verschiedene Projekte konnten erfolgreich abgeschlossen werden. So das Projekt *Effiziente Luft/Wasser-Wärmepumpen durch kontinuierliche Leistungsregelung* [7] indem die Grundlagen für die kontinuierliche Leistungsregelung L/W-WP erarbeitet und experimentell überprüft wurden. Die Jahresarbeitszahl (JAZ) wurde um 20–50 % verbessert und erreichte mit 4,4 ein Wert für gute Sole/Wasser-Wärmepumpen. In einem Folgeprojekt werden nun die Möglichkeiten der Leistungsregelung von Sole/Wasserwärmepumpen untersucht. Im ebenfalls beendeten Projekt *OPTIGEN* [8] konnte der Nutzen und die Voraussetzungen für die Einbindung eines Saisonspeichers von 28 m² in eine Wärmepumpe-Solar Kollektor-Anlage an einem realen Beispiel erprobt werden. Interessante Ergebnisse zeigte auch das abgeschlossene Projekt *Zweiphasenkompressor für Wärmepumpen* [9]. Durch theoretische Abklärungen wurde ein Konzept für den Beginn der Kompression im Zweiphasengebiet erarbeitet, also dort, wo das Kältemittel im gasförmigen und flüssigen Zustand ist. Erwartet wird eine Verbesserung der Leistungsziffer von 20 %. In einem nächsten Projekt soll die Theorie nun experimentell überprüft werden.

Wiederum sehr erfolgreich konnte die 18. Wärmepumpentagung in Burgdorf durchgeführt werden. Sie ist der Treffpunkt der Schweizer Fachleute aus dem Wärmepumpen- und Kältemaschinenbereich.

Mitte 2012 wechselte die Programm- und die Bereichsleitung des BFE-Forschungsprogramms *Wärmepumpen und Kälte* von Thomas Kopp (Hochschule Rapperswil) und Andreas Eckmanns (BFE) an Stephan Renz (Beratung Renz Consulting) und Martin Pulfer (BFE).

Ausblick

Mit Interesse wird die Auswertung der Messergebnisse der Feldtestanlagen im Projekt *Effizienzsteigerung von transkritischen CO₂-Kälteanlagen* [10] erwartet. Gewerbliche Kälteanlagen bewirken einen grossen Anteil des Stromverbrauchs in Supermärkten und im Lebensmittel-grosshandel. Die Verbesserung der Effizienz kann deshalb einen wichtigen Beitrag zur Reduktion des Stromverbrauchs dieser Branche leisten. Erste Ergebnisse werden auch vom Ende 2012 gestarteten Projekt *Sole/Wasserwärmepumpen mit kontinuierlicher Leistungsregelung* [11] erwartet. Abgeschlossen wird der Annex 37 *Demonstration of Field Measurements of Heat Pump Systems in Buildings – Good Examples with Modern Technology* [12] des IEA Heat Pump Programme (HPP), zu dem die Schweiz ebenfalls einen Beitrag geleistet hat. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse sollen möglichst rasch in die Praxis umgesetzt werden. Hierzu wird eine Zusammenarbeit mit EnergieSchweiz und dem Fachverband Wärmepumpen Schweiz (FWS) erfolgen. Das IEA HPP hat neue Annexes gestartet und vorgeschlagen. So den Annex 40 *Heat Pump Concepts for Nearly Zero Energy Buildings*, der von C. Wemhöner von der Hochschule Rapperswil (HSR) geleitet wird sowie den Annex 41 *Cold Climate Heat Pumps*. Im Frühjahr 2013 wird zudem der Annex 42 *Heat Pumps in Smart grids* gestartet werden. Eine Beteiligung von Schweizer Forschenden in diesen Projekten wird 2013 geprüft werden.

Highlights aus Forschung und Entwicklung

Zweiphasenkompressor für Wärmepumpen

Der Kreisprozess einer Wärmepumpe weicht in der Praxis in vielen Bereichen vom idealen Carnotprozess ab und erreicht deshalb nur etwa die Hälfte der theoretischen Effizienz. Neben diversen Verlusten (Wärme, Reibung) spielt vor allem die Abweichung bei der Kompression des Kältemittels eine wichtige Rolle. In der Kompressionsmaschine darf keine Flüssigkeit vorhanden sein, sondern das zu verdichtende Medium muss jederzeit gasförmig sein. Die Kompression erfolgt deshalb erst nach der vollständigen Verdampfung des Kältemittels und erreicht eine weitaus höhere Temperatur als für die Kondensation notwendig (Fig. 1). Dafür ist zusätzliche Arbeit erforderlich, welche schlussendlich verloren ist.

Im Projekt *Zweiphasenkompressor für Wärmepumpen* der HSR [9] wurden vorerst auf theoretischer Basis Verbesserungsmöglichkeiten untersucht. Die Idee ist, noch vor der vollständigen Verdampfung das Kältemittel – also im Zweiphasengebiet – mit der Kompression zu beginnen und am Ende ein vollständig gasförmiges Medium zu erreichen. Damit keine Beschädigung des Kompressors durch Flüssigkeitstropfen entsteht, soll das Zweiphasengemisch durch eine Zerstäubung auf Tropfen von maximal $1\ \mu\text{m}$ bis $4\ \mu\text{m}$ begrenzt werden. Dies

soll durch die Eindüsung von Flüssigkeit, die vor der Drossel entnommen wird, in das aus dem Verdampfer strömende gesättigte Gas erfolgen. Die sehr kleinen Tropfen verdampfen während der Kompression vollständig, womit das Ziel, ein gesättigtes Gas am Kompressorausstritt zu erreichen, erfüllt wird. Die thermodynamischen Analysen dieses Prozesses ergaben eine Effizienzsteigerung von 20 % gegenüber heutigen Wärmepumpen. Damit bestehende Kompressoren genutzt werden können, soll die Zerstäubung durch ein vorgeschaltetes Gerät erfolgen. Die Herausforderung wird sein, die Tropfen in der gewünschten Feinheit zu erzeugen und zu gewährleisten, dass im Kompressor in keinem Betriebszustand Flüssigkeit in der Form von grösseren Tropfen entsteht. In der nächsten Projektphase soll das theoretisch erarbeitete Konzept experimentell überprüfen werden.

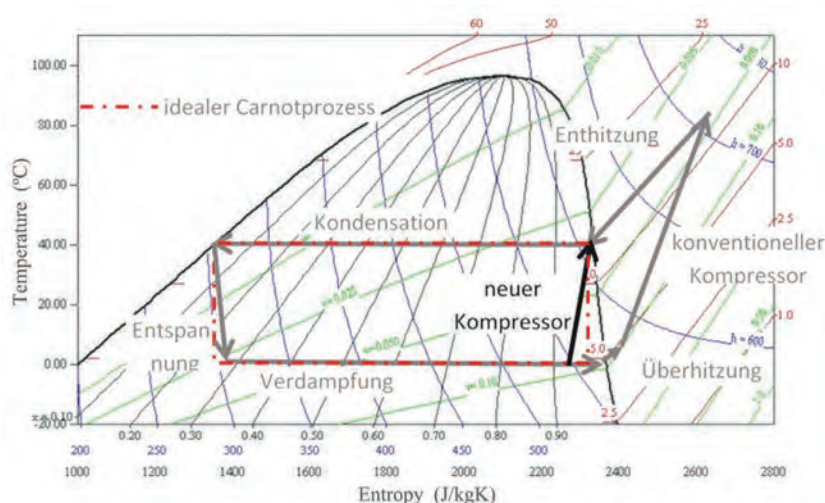
Leistungsregelung – ein Schlüssel zur Effizienzsteigerung

Der grösste Wärmeleistungsbedarf eines Gebäudes entsteht bei der tiefsten Aussentemperatur, die im Winter zu erwarten ist. Obschon dieser maximale Bedarf in der Regel kaum oder nur wenige

Stunden pro Jahr benötigt wird, muss ein Heizsystem für diese Situation ausgelegt werden. Mit 50 % der maximal erforderlichen Heizleistung können rund 80 % des jährlichen Wärmebedarfs abgedeckt werden. Bei monovalenten Heizsystemen mit Wärmepumpen bedeutet dies, dass deren maximale Leistung selten kontinuierlich benötigt wird und diese vorwiegend Ein/Aus geschaltet wird. Bei jedem Einschalten müssen die maximalen Kältemittel- sowie Wärmequellen- und Wärmesenken-Massenströme gefördert werden. Dies ist insbesondere bei Luft/Wasser-Wärmepumpen problematisch, weil im Auslegungspunkt des Ventilators, also bei sehr tiefen Aussentemperaturen, sehr grosse Luftmengen gefördert werden müssen. Dies führt beispielsweise bereits bei Aussentemperaturen im Plusbereich zur Vereisung des Verdampfers.

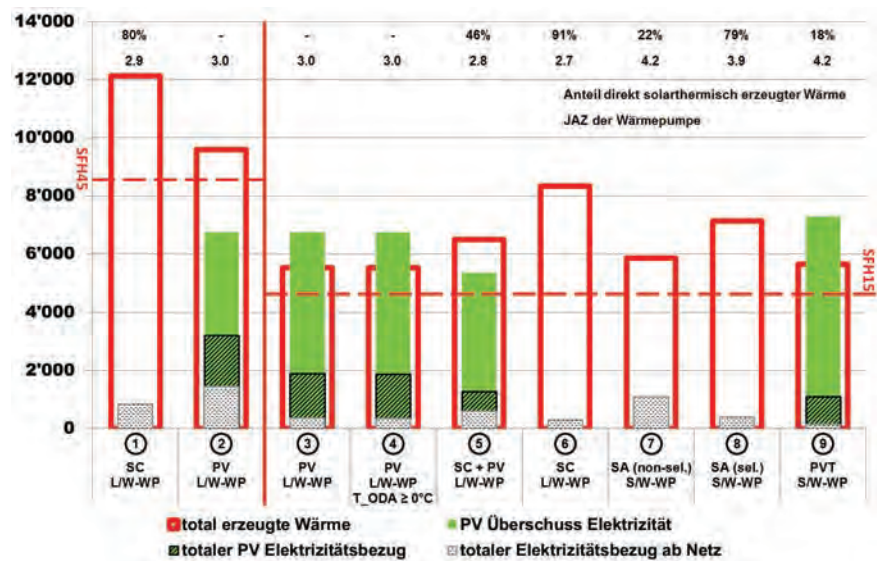
Viel effizienter ist der kontinuierliche Betrieb von Kompressor und Ventilator der Luft/Wasser-Wärmepumpe im Teillastbereich, also mit deutlich geringeren Massenströmen. Zu berücksichtigen ist jedoch der Teillastwirkungsgrad der diversen Komponenten, welcher ab einer gewissen Last erheblich absinken kann.

Im abgeschlossenen Projekt *Effiziente Luft/Wasser-Wärmepumpe durch kontinuierliche Leistungsregelung* wurden dazu an der Hochschule Luzern [7] theoretische und experimentelle Untersuchungen durchgeführt. Dazu wurden die Teillastwirkungsgrade des Kompressors und des Ventilators ausgemessen und die Ergebnisse als Kennfeld für eine optimale Regelung eingesetzt. Untersucht wurden drei verschiedene Prototypen von Luft/Wasser-Wärmepumpen: Digital-Scroll-Kompressor, Inverter-Scroll-Kompressor ohne Dampfeinspritzung sowie Inverter-Scroll-Kompressor mit Dampfeinspritzung. Wegen dem schlechten Teillastverhalten für Wärmepumpe-Anwendungen erlaubt der Digital-Scroll-Prototyp keine signifikante Effizienzsteigerung im Vergleich zur Ein/Aus-Regelung. Beim Inverter-Scroll-Kompressor ohne Dampfeinspritzung wurde eine Verbesserung der Jahresarbeitszahl um rund 20–50 % erreicht. Dieses System ist jedoch nicht geeignet für Gebäude mit höheren Heizwassertemperaturen. Mit dem Inverter-Scroll-Kompressor



Figur 1: Temperatur-Entropie-Diagramm am Beispiel des Arbeitsmediums R290 (Propan). Eingezeichnet ist die Prozessführung in einem Betriebspunkt (Verdampfungstemperatur $0\ ^\circ\text{C}$, Kondensationstemperatur $40\ ^\circ\text{C}$) mit konventionellem Kompressor, mit dem neuen Kompressor und ein idealer Carnotprozess [9].

mit Dampfeinspritzung wurde eine Jahresarbeitszahl (JAZ) von 4.4 für ein Gebäude mit Minenergie-Standard und 3,8 für einen sanierten Altbau erreicht. Damit wird eine deutliche Verbesserung im Vergleich zu Ein/Aus-geregelten Systemen erreicht und dies insbesondere auch für sanierte Altbauten. Die positiven energetischen Ergebnisse wirken sich auch günstig auf die Wirtschaftlichkeit der Anlagen aus, zumal der Mehraufwand für die Leistungsregelung gering ist. Im 2012 gestarteten Nachfolgeprojekt *Sole/Wasser-Wärmepumpen mit kontinuierlicher Leistungsregelung* [11] sollen die gewonnen Erkenntnisse auch für diese Anlagenkonfiguration angewendet werden können.



Figur 2: Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Systemsimulationen [14].

Kombination von Wärmepumpen und Solartechnik

Für die Energieversorgung neuer aber auch bestehender Gebäude werden in zunehmender Anzahl Solaranlagen installiert. Dazu gehören solarthermische Kollektoren und seit der Förderung durch die kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) in grösserem Umfang auch Fotovoltaikanlagen. Interessant ist nun die Kombination der Solartechnik mit Wärmepumpen und dabei die Frage nach den Voraussetzungen für bestmögliche Systeme. Ein Beispiel ist die optimale Abstimmung der Systeme zwischen Tag- und Nachbetrieb unter der Berücksichtigung von geeigneten Energiespeichern. Die Problematik wurde auch international erkannt und führte beispielsweise zu einem gemeinsamen Projekt *Solar and Heat Pumpen Systems* [13] der beiden Implementing Agreements Solar Heating and Cooling (SHC) sowie Heat Pump Programme (HPP) der IEA. Daran beteiligen sich 12 Länder mit 30 Forscherteams. Bei zwei Projekten arbeiten Schweizer Forscherteams mit.

Im Projekt *Kombination von Solarthermie, Fotovoltaik und Wärmepumpen* der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) [14] wurden die Vor- und Nachteile der verschiedenen Kombinationen dieser unterschiedlichen Energiesysteme untersucht. Basis für den Systemvergleich sind Einfamilienhäuser mit einem Heizwärmebedarf von $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

und $45 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Für die solare Energiequelle wurde eine südorientierte Dachfläche von 50 m^2 angenommen. Insgesamt wurden 9 verschiedene Varianten mit Luft/ Wasser- oder Sole/Wasser-Wärmepumpen, solare Wärme- und Stromerzeugung sowie Kombinationen davon untersucht. Hinzu kamen diverse Grössen der Wärmespeicher. In Figur 2 sind die Ergebnisse der Systemsimulationen dargestellt. Varianten 1 und 6 sind mit hocheffizienten Solarkollektoren sowie einem saisonalen Wärmespeicher ausgerüstet und erzeugen die grössten Wärmemengen. Wegen den saisonalen Schwankungen muss dennoch ein Teil der Wärme mittels Wärmepumpe erzeugt werden. Deren Strombedarf ist zwar sehr gering, er muss aber vollständig aus dem Netz bezogen werden. Obschon mit den Fotovoltaikanlagen in Variante 2 bis 4 Überschussstrom produziert wird, muss im Winter teilweise Strom aus dem Netz bezogen werden und zwar mehr als in den vorgenannten Varianten 1 und 6. In Variante 5 wurden 42 m^2 Fotovoltaik sowie 8 m^2 Solarkollektoren eingesetzt. Bei geringerem Stromüberschuss der Fotovoltaikanlage ist der Strombedarf aus dem Netz grösser als bei der reinen Fotovoltaik-Lösung. Interessant ist Variante 9 mit fotovoltaisch-thermischen Kollektoren. Dies führt zum insgesamt geringsten Netz-Strombezug bei gleichzeitig höchstem Elektrizitätsüberschuss. Die Simulations-

ergebnisse werden in den weiteren Arbeiten mit Systemtests validiert und die Regelungsstrategien werden untersucht werden. Zudem werden Abschätzungen über die Wirtschaftlichkeit der diversen Varianten durchgeführt werden. Bei diesen Ergebnissen ist zu beachten, dass diese für Gebäude mit sehr geringem Wärmebedarf gelten.

Effizienzsteigerung von CO_2 -Kälteanlagen

In der Grossgewerbekälte gewannen Kälteanlagen, die das natürliche Kältemittel CO_2 nutzen, stark an Bedeutung. Schweizer Supermarkt- und Grosshandelsketten installieren vorwiegend transkritische CO_2 -Kälteanlagen. Die Anlagen sind heute robust, erreichen sehr gute Leistungsziffern und haben den Vorteil, dass kein synthetisches Fluor-Kohlenwasserstoff-(FKW)-Kältemittel eingesetzt wird. Die speziellen Eigenschaften der CO_2 -Anlagen wie hohe Drücke und hohe Temperaturen erfordern auch besondere Massnahmen, um einen möglichst effizienten Betrieb zu gewährleisten. Im Projekt *Effizienzsteigerung von transkritischen CO_2 -Kälteanlagen* untersucht Frigo-Consulting AG [10] entsprechende Methoden. Basis bilden drei Feldtestanlagen, in denen eine integrierte Expansionsmaschine, die Kom-



Figur 3: Transkritische CO₂-Kälteanlage der Migros Ebikon. Anlage mit 10 Verdichtern, wovon 5 für die Pluskühlung (170 kW), 4 für die Minuskühlung (40 kW) und 1 als Parallelverdichter eingesetzt werden [10].

bination aus einer CO₂-Kälteanlage und einer Adsorptionskälteanlage sowie eine CO₂-Kälteanlage mit Parallelkompression (Figur 3) untersucht werden. Zudem werden weitere Methoden zur Effizienzsteigerung evaluiert. Daraus sollen zwei bezüglich Einspar- und Marktpotenzial erfolgversprechende Methoden konkretisiert werden. Aus dem Projekt werden

ein systematisches Auswahlverfahren für die Effizienzsteigerung von transkritischen CO₂-Kälteanlagen resultieren sowie von drei bereits realisierten Methoden anhand von Messresultaten das effektive Einsparpotenzial validiert sein. Zur Effizienzsteigerung werden folgende Methoden untersucht:

- Reduktion der Drosselverluste (Expansionsmaschine, Parallelverdichtung);
- Reduktion der Wärmesenkentemperatur (andere Wärmesenke, adiabatische Kühlung, Speicher und nächtliche Abkühlung);
- Externe Unterkühlung (mit Gebäudeklimaanlage, Ab-/Adsorberkältemaschine);
- Optimierte Regelungstechnik (Hochdruckregelung, Gaskühler-Austrittstemperatur);
- Saugdruck erhöhen (CO₂-Umpumpsystem, Ejektor);
- Abwärme in Strom umwandeln (Rankine-Prozess, Stirling-Motor);
- Energiespeicherung (Kältespeicherung und Betrieb bei günstigem Strom oder Nachts bei tieferen Rückkühltemperaturen).

Neben den in den vorgenannten Feldtestanlagen untersuchten Methoden, wird die *Optimierung der Regelungstechnik sowie die adiabatische Kühlung* bezüglich Effizienzverbesserung und Marktakzeptanz als vielversprechend weiterverfolgt.

Nationale Zusammenarbeit

Die Teams der Schweizer Wärmepumpen- und Kältemaschinen-Forschung sind gut vernetzt und pflegen eine Zusammenarbeit auch zwischen der Hochschul- und der Industrieforschung. Hinzu kommen die Kontakte zu den Umsetzungspartnern wie Architekten und Planern sowie zu den Nutzern. Dies manifestiert sich an der jährlich vom BFE organisierten Wärmepumpentagung, an der sich in Burgdorf jeweils rund 300 Personen aus Forschung, Herstellung, Umsetzung und Anwendung treffen. Durch Projektbegleitgruppen mit Industrievertretern erfolgt der notwendige Praxisbezug in von Hochschulen bearbeiteten Projekten. So wurde das eher grundlagenorientierte Projekt *Zweiphasenkompressor für Wärmepumpen* der HSR [9] durch Spezialisten der Firmen Burckhardt Compression, Haug Kompressoren, DUAP Einspritzsysteme sowie Hoval Wärmepumpen begleitet. Im Projekt *Effizienzsteigerung von transkritischen CO₂-Kälteanlagen* [10] erfolgt eine Zusammenarbeit mit Prodega Basel und Prodega St. Blaise so-

wie Migros Ebikon, die als Anwender ihre Kälteanlagen für Feldtests zur Verfügung stellen. Zahlreiche Fachhochschulen arbeiten im Projekt *Kombination von Solarthermie, Fotovoltaik und Wärmepumpen* [14] zusammen. Dazu gehören die Institute IEBau (FHNW), SPF (HSR), HEFR (Fribourg), LESBAT (HEIG-VD) und FOREL (Universität Genf).

Mit den Branchenverbänden besteht ein Informationsaustausch, so zum Fachverband Wärmepumpe Schweiz (FWS), Schweizer Verein für Kältetechnik (SVK) sowie Schweizer Verein für Gebäudetechnik-Ingenieure (SWKI). Im Rahmen der BFE-Forschungsprogramme besteht vor allem eine Zusammenarbeit mit den Programmen *Solarwärme und Wärmespeicherung*, *Energie in Gebäuden*, *Elektrizitätstechnologien und -anwendungen* sowie *Verfahrenstechnik*.

Zudem bestehen Kontakte zu anderen Forscherorganisationen wie SwisselectricResearch sowie zu kantonalen Ämtern.

Internationale Zusammenarbeit

Die internationale Zusammenarbeit erfolgt vor allem durch eine aktive Mitarbeit im IEA HPP. Schweizer Forschende arbeiteten 2012 in 4 Projekten (Annexes) des IEA HPP mit. Im Annex 37 *Demonstration of Field Measurements on Heat Pump Systems in Buildings* [12] sind Forschende aus 4 verschiedenen Ländern engagiert, wobei die Schweizer Vertreter ein Teilprojekt (Task) bearbeiten. Eine sehr umfassende internationale Zusammenarbeit findet im Annex 38 *Solar and Heat Pump Systems* [13] statt, der gemeinsam mit dem Annex 44 das IEA Implementing Agreement Solar Heating and Cooling bearbeitet wird. In dieser Kooperation sind 12 verschiedene Länder involviert und sie wird von der Schweizer Vertretung geleitet. Die Schweiz steuert je ein Projekt der FHNW und der FH Fribourg bei. Im Annex 39 *A common method for testing and rating of residential heat pumps and air conditioners annual/ seasonal performance (SPF)* [15] an dem 8 verschiedene Länder beteiligt

sind, bearbeitet die FHNW mit dem Projekt *Effizienz kombinierter Systeme mit Wärmepumpen* [16] ein Teilprojekt. Hier findet auch eine Zusammenarbeit mit dem deutschen Bundesverband Wärmepumpen (bwp) statt. Der 2012 neu gestartete Annex 40 *Heat Pump Concepts for Nearly Zero Energy Buildings* [17] wurde auf Initiative des IET der HSR gestartet und wird von diesem geleitet. Zur Zeit arbeiten darin 6 verschiedene Länder zusammen.

Die Berichte aus den IEA HPP Annexes werden jeweils auf der Website des Heat Pump Centres publiziert und sind für die Mitglieder zugänglich. Dadurch wird ein breit abgestütztes Wissen zur Verfügung gestellt. Im Rahmen der Projektarbeit organisiert das IEA HPP zahlreiche Workshops. Alle drei Jahre wird eine internationale Wärmepumpenkonferenz durchgeführt. Die nächste wird 2014 in Montreal stattfinden.

Referenzen

[1] Wärmepumpenstatistik 2012, Fachverband Wärmepumpen Schweiz (FWS)

[2] Th. Kopp, A. Eckmanns: *Detaillkonzept des Forschungsprogramms Wärmepumpen, Wärme-Kraft-Kopplung, Kälte 2008–2011*, BFE (2009)

[3] BFE, Forschungsprogramm Wärmepumpen und Kälte, www.bfe.admin.ch/forschungwkk/

[4] Eidgenössische Energieforschungskommission CORE: *Konzept der Energieforschung des Bundes 2008–2011*, BFE (2007)

[5] Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2010, BFE (2011)

[6] Thomas Lang, Basler & Hofmann: *Workshop Lücken zwischen den Gewerken*, Kälte-Forum 2008

[7] L. Gasser, M. Albert, M. Häusermann, B. Wellig: *Effiziente Luft/Wasser-Wärmepumpen durch kontinuierliche Leistungsregelung*, BFE-Schlussbericht (2012)

[8] P. Kurmann, T. Mesot, T. Ursenbacher: *OPTIGEN Optimierung der Einbindung eines 28-m³-Wasserspeichers in die Beheizung und die WW-Versorgung eines EFH mit WW-Wärmepumpe und Solarkollektoren*, BFE-Schlussbericht (2012)

[9] M. Friedel, Th. Wüst: *Zweiphasenkompressor für Wärmepumpen*, BFE-Schlussbericht (2012)

[10] J. Schönenberger: *Effizienzsteigerungen von transkritischen CO₂-Kälteanlagen*, BFE-Jahresbericht (2012)

[11] I. Wyssen, A. Brun, L. Gasser, B. Wellig: *Sole/Wasser-Wärmepumpen mit kontinuierlicher Leistungsregelung*, BFE-Jahresbericht (2012)

[12] IEA-HPP-Annex 37: *Demonstration of Field Measurements on Heat Pump Systems in Buildings*, (www.heatpump-centre.org)

[13] IEA-HPP-Annex 38: *Solar and Heat Pump Systems*, (www.heatpumpcentre.org)

[14] R. Dott, Th. Afjei: *SOFOWA – Kombination von Solarthermie, Fotovoltaik und Wärmepumpen*, BFE-Jahresbericht (2012)

[15] IEA-HPP-Annex 39: *A common method for testing and rating of residential heat pumps and air conditioners annual/ seasonal performance*, (www.heatpumpcentre.org)

[16] A. Generkinger, Th. Afjei: *EFKOS - Effizienz kombinierter Systeme mit Wärmepumpen*, BFE Jahresbericht (2012)

[17]] IEA-HPP-Annex 40: *Heat Pump Concepts for Nearly Zero Energy Buildings*, (www.heatpumpcentre.org)

Laufende und im Berichtsjahr abgeschlossene Projekte

(* IEA-Klassifikation)

- EFFIZIENTE LUFT/WASSER-WÄRMEPUMPEN DURCH KONTINUIERLICHE LEISTUNGSREGELUNG**

Lead: Hochschule Luzern – Technik und Architektur

Contact: Beat Wellig beat.wellig@hslu.ch

Abstract: Als Ziel sollen Auslegungs- und Planungsgrundlagen für LW-WP mit kontinuierlicher Leistungsregelung erarbeitet werden. Das Potenzial der Leistungsregelung wurde durch drei verschiedene Prototypen leistungsgeregelter LW-WP bestätigt. Bei der Verwendung effizient regelbarer Kompressoren und Ventilatoren liegen die erreichbaren Jahresarbeitszahlen leistungsgeregelter LW-WP im Bereich von heutigen Ein/Aus-geregelten Sole/Wasser-Wärmepumpen.

R&D 7.2*

Funding: BFE

Period: 2008–2012
- IEA-HPP-ANNEX 38: SOLAR AND HEAT PUMP SYSTEMS**

Lead: IEA Heat Pump Programme, Borås, Sweden

Contact: www.heatpumpcentre.org

Abstract: Das internationale Gemeinschaftsprojekt IEA-HPP Annex 38 hat das Ziel, die Einsatzmöglichkeiten der Kombination von Wärmepumpen und Solarthermie zu evaluieren und zu optimieren. Dazu werden existierende Systeme bewertet und heutige Testmethoden verglichen. Simulationen von heutigen Systemen und ergänzenden neuen Komponenten sollen das erreichbare Potenzial aufzeigen.

R&D 7.2

Funding: BFE

Period: 2010–2014
- SOFOWA – KOMBINATION VON SOLAROTHERMIE, FOTOVOLTAIK UND WÄRMEPUMPEN**

Lead: Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut am Bau

Contact: Ralf Dott, Thomas Afjei thomas.afjei@fhnw.ch

Abstract: Niedrigenergiehäuser sind durch die Verschärfung der Energievorschriften zum Standard für Neubauten geworden. Nach gängiger Definition gehen Netto-Nullenergiehäuser meist mit einer gebäudeintegrierten Solartechnik einher. Ziel des Projekts ist mittels Simulation erfolgversprechende Kombinationen von Wärmepumpe und Solartechnik zu identifizieren, die Praxistauglichkeit mit einem Feldtest zu verifizieren und einen Leitfadens zu erstellen.

R&D 7.2

Funding: BFE

Period: 2010–2014
- OPTIMIERUNG DER EINBINDUNG EINES 28 M3 WASSER SPEICHERS IN DIE BEHEIZUNG UND DIE WW-VERSORGUNG EINES EFH MIT W/W-WÄRMEPUMPE UND SOLARKOLLEKTOREN**

Lead: EIA-FR Ecole d'ingénieurs et d'architectes

Contact: Peter Kurmann peter.kurmann@hefr.ch

Abstract: Simulationen und Messungen in einem EFH mit 185m2 EBF, gebaut nach SIA380/1:2009, mit Solarkollektoren (40m2), einer W/W Wärmepumpe (6.4kW) mit einer Erdsonde (150m) sowie zwei thermischen Speicher mit Wasser (1: ungeschichtet, 28m3, 2: geschichtet, 1.65m3) sollen das Potenzial des Gesamtsystems aufzeigen. Bisher wurden die technischen Einrichtungen während mehreren Tagen mit und ohne Heizlast simuliert und mit realen Messdaten validiert.

R&D 7.2

Funding: BFE

Period: 2010–2012
- UTILISATION DE GÉOTHERMIE PROFONDE POUR LE CHAUFFAGE DE GRANDS BÂTIMENTS AVEC DES POMPES À CHALEUR À TRÈS HAUTES PERFORMANCES**

Lead: Planair SA

Contact: Fabrice Rognon fabrice.rognon@planair.ch

Abstract: Das Projekt hat das Ziel, Sonden mit Längen zwischen 300 und 800 m zu beurteilen und mit klassischen Sonden und Sondenfeldern zu vergleichen. Untersucht wird das Leistungsvermögen und die Wirtschaftlichkeit. Das Projekt läuft in Zusammenarbeit mit dem BFE-Programm Geothermie.

R&D 7.2

Funding: BFE

Period: 2010–2012
- MEU - INSTRUMENTS INNOVANTS DE PLANIFICATION ET DE MANAGEMENT DE SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES EN ZONES URBAINES**

Lead: EPFL - Energy Center, CREM, EPFL - LESO-PB, EPFL LENI, HES-SO Valais

Contact: M. Capezzali massimiliano.capezzali@epfl.ch

Abstract: Das Ziel des Projektes ist eine Software, die die Planung von Energienetzen vereinfachen soll. Vier Städte, Lausanne, Martigny, Neuchâtel und La-Chaux-de-Fonds unterstützen das Projekt durch aktive Mitarbeit und durch Analyse von konkreten Situationen. Das Projekt soll anfangs 2012 abgeschlossen werden.

R&D 7.2

Funding: BFE, FOGA

Period: 2008–2012
- ZWEIPHASENKOMPRESSOR FÜR WÄRMEPUMPEN - PHASE 1: KONZEPT**

Lead: IPEK-HSR

Contact: Theodor Wüst, Markus Friedl twuest@hsr.ch

Abstract: In diesem Projekt soll ein Kompressionsvorgang untersucht werden, der mit einem zweiphasigen Gas-Flüssigkeits-Gemisch startet und möglichst in der Nähe des Satteldampf-Grenzlinie endet. Damit soll eine Ueberhitzung des Mediums vermieden werden. Ein Konzept für einen realen Prototyp wird erarbeitet.

R&D 7.2

Funding: BFE

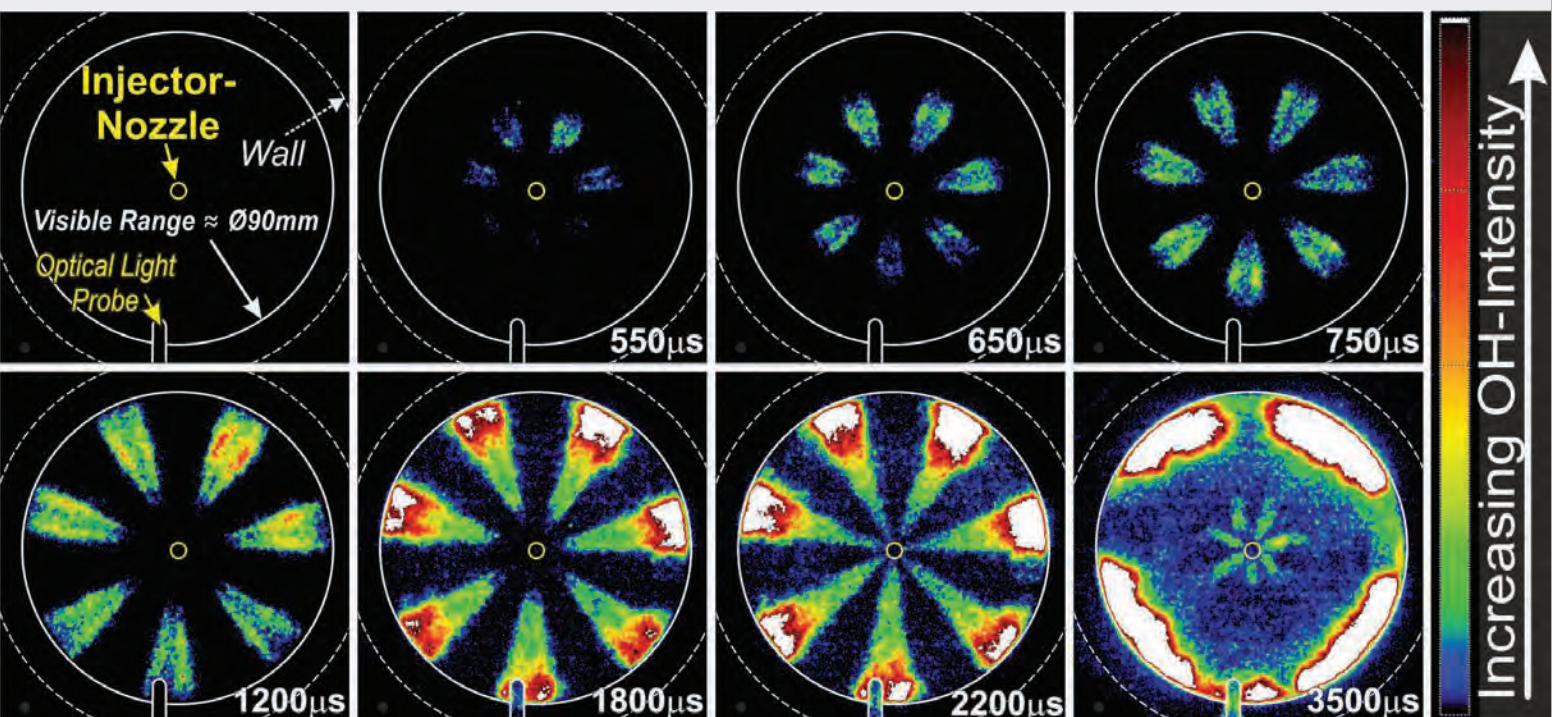
Period: 2011–2012

- **IEA-HPP-ANNEX 37: DEMONSTRATION OF FIELD MEASUREMENTS ON HEAT PUMP SYSTEMS IN BUILDINGS** R&D 7.2
- | | | | |
|----------|-------------------------|----------|-----------|
| Lead: | IEA Heat Pump Programme | Funding: | BFE |
| Contact: | www.heatpumpcentre.org | Period: | 2011–2013 |
- Abstract: Das internationale Gemeinschaftsprojekt IEA-HPP Annex 37 hat das Ziel, das Potenzial von Wärmepumpen für den Einsatz in verschiedenen Gebäuden ausgehend von existierenden Feldmessungen aufzuzeigen. Es sollen nur die besten technischen Lösungen einbezogen werden. Die Feldmessungen werden auf gleichartige Auswertungsmethodik verglichen und Unterschiede sollen quantifiziert werden. Hier wird auch ein Vergleich zum SEPEMO-Projekt gemacht.
- **IEA-HPP-ANNEX 39: A COMMON METHOD FOR TESTING AND RATING OF RESIDENTIAL HEAT PUMPS AND AIR CONDITIONERS ANNUAL/SEASONAL PERFORMANCE (SPF)** R&D 7.2
- | | | | |
|----------|-------------------------|----------|-----------|
| Lead: | IEA Heat Pump Programme | Funding: | BFE |
| Contact: | www.heatpumpcentre.org | Period: | 2010–2013 |
- Abstract: Das internationale Gemeinschaftsprojekt IEA-HPP Annex 39 hat das Ziel, eine international anerkannte Methode zur Berechnung von SPF (Seasonal Performance Factor) aus gemessenen Momentanwerten COP (Coefficient of performance) für verschiedene Wärmepumpentypen zu evaluieren. Bisher angewendete Methoden können neuere Wärmepumpen, wie zum Beispiel frequenzgeregelte Wärmepumpen oder CO₂-Wärmepumpen nicht genügend abbilden.
- **EFFIZIENTE KÄLTEERZEUGUNG VON TRANSKRITISCHEN CO₂-KÄLTEANLAGEN** R&D 7.2
- | | | | |
|----------|---|----------|-----------|
| Lead: | Frigo-Consulting AG, Gümligen | Funding: | BFE |
| Contact: | J. Schöneberger j.schoenebergerr@frigoconsulting.ch | Period: | 2011–2013 |
- Abstract: Das Kältemittel CO₂ kommt in stationären Kälteanlagen vermehrt zum Einsatz. Die relativ schlechte Leistungszahl des Kaldampfprozesses mit CO₂ kann mit einer arbeitsleistenden Entspannung thermodynamisch verbessert werden. Drei verschiedene Varianten (Expansionsmaschine, Adsorptionskälte, Parallelkompression) werden in Feldtests und weiter theoretisch untersucht.
- **SOLE/WASSER-WÄRMEPUMPEN MIT KONTINUIERLICHER LEISTUNGSREGELUNG** R&D 7.2
- | | | | |
|----------|---|----------|-----------|
| Lead: | Hochschule Luzern – Technik und Architektur | Funding: | BFE |
| Contact: | Beat Wellig beat.wellig@hslu.ch | Period: | 2012–2014 |
- Abstract: Als Ziel sollen Auslegungs- und Planungsgrundlagen für S/W-WP mit kontinuierlicher Leistungsregelung erarbeitet werden. Für L/W-WP konnte gezeigt werden, dass mit kontinuierlicher Leistungsregelung die Jahresarbeitszahl erheblich (bis zu 50%) verbessert werden kann. Bei S/W-WP ist die Wärmequellentemperatur zwar eher konstant, Temperatur- und Leistungsbedarf der Abnehmerseite schwankt jedoch identisch.
- **IEA-HPP-ANNEX 40: HEAT PUMP CONCEPTS FOR NEARLY ZERO ENERGY BUILDINGS (OPERATING AGENT)** R&D 7.2
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | Hochschule für Technik Rapperswil, Institut für Energietechnik | Funding: | BFE |
| Contact: | Carsten Wemhöner carsten.wemhoener@hsr.ch | Period: | 2012–2015 |
- Abstract: Der sehr geringe Energiebedarf von neuen Gebäuden stellt auch besondere Herausforderungen an die Wärmepumpen. In einem internationalen Rahmen sollen der Stand der Technik und die Definition von «Nearly Zero Emission Buildings» erfasst werden. Zudem werden vielversprechende Wärmepumpenkonzepte analysiert und Fragen zu Netzrückwirkungen und Speicherintegration untersucht.



Stephan Renz

Verbrennung und Wärme-Kraft-Kopplung



Einfluss der Brennstoffzusammensetzung auf Einspritzung, Zündung und Brennverlauf

Für die Validierung numerischer Modelle zur Berechnung der dieselmotorischen Verbrennung sind Versuche an optisch zugänglichen Versuchsträgern notwendig. Im Projekt *CRFD-Simulation für neue motorische Brennverfahren und Kraftstoffe* wurden in einer Hoch-Temperatur-Druck-Zelle (HTDZ) verschiedene Kraftstoffe untersucht. Aus den OH-Chemilumineszenz-Bildern können relevante Eigenschaften erfasst werden. Die Zündung erfolgt 550 μs nach dem Start der Einspritzung. Bis alle 6 Einspritzstrahle brennen, dauert es 100 μs . Nach 1800 μs ist die Einspritzung abgeschlossen und der restliche Brennstoff verbrennt bis zur Einspritzdüse. Auf dem letzten Bild ist ersichtlich wie der restliche Brennstoff an der Zylinderwand entlang verbrennt und ungewollt zusätzlich Brennstoff aus der Düse strömt und abbrennt. Dies wird durch das Zurückschlagen der Nadel beim Schliessen in der Einspritzdüse verursacht.

Einleitung

Die Verbrennung ist nach wie vor der weltweit wichtigste Energieumwandlungsprozess, um unterschiedliche Brennstoffe in nutzbare Energieformen wie Wärme, mechanische Arbeit oder Strom umzuwandeln. Der chemisch einfach darstellbare Oxidationsprozess verläuft in der Praxis selbst unter atmosphärischen Bedingungen in der Flamme eines Bunsenbrenners hochkomplex ab. Es bilden sich diverse Zwischenprodukte, nicht gewollte Inhaltsstoffe des Brennstoffes und der Luft nehmen an den Reaktionen teil und es bilden sich schlussendlich Luftfremdstoffe, die wir als Schadstoffe wahrnehmen. Hinzu kommen mit festen, flüssigen und gasförmigen Stoffen gemischte Strömungen.

Die vielfach wichtigste Anforderung an ein Verbrennungssystem ist möglichst viel des Energieinhalts des eingesetzten Energieträgers in nutzbare mechanische Arbeit umzuwandeln. Damit wird die Wertigkeit des Energieträgers optimal genutzt bzw. es wird ein maximaler exergetischer Wirkungsgrad erreicht. Der Prozess soll zudem mit möglichst geringen Schadstoffemissionen ablaufen. Mit den besten Systemen gelingt es heute, über 60 % des Energieinhalts des eingesetzten Energieträgers in Strom umzuwandeln. Die restlichen 40 % sind Abwärme auf geringem Temperaturniveau, die allenfalls noch für die Beheizung von Wohnräumen genutzt werden kann.

Daraus erkennen wir drei wichtige Herausforderungen an die Verbrennungsforschung: (1) Die Vorgänge im Verbrennungsprozess müssen möglichst gut verstanden und abgebildet werden können, (2) Verbrennungssysteme sollen mit diesem Wissen so simuliert werden können, dass der Prozess optimal abläuft

und nur wenige Schadstoffe entstehen; (3) Verbrennungskraftmaschinen müssen so gebaut und gesteuert werden, damit der Energieinhalt vorwiegend in Arbeit umgewandelt wird und die verbleibenden Schadstoffe durch Abgasnachbehandlungssysteme eliminiert werden können. Schlussendlich ist anzumerken, dass die Herausforderungen für eine zunehmende Anzahl und Komplexität von Brennstoffen beherrscht werden müssen.

Die heute vorwiegend eingesetzten fossilen Energieträger Erdgas, Erdöl und Kohle haben den Nachteil der begrenzten Verfügbarkeit sowie der Klima schädigenden CO₂-Emissionen. Auf Biomasse basierende Energieträger sowie aus verschiedenen Stoffen künstlich erzeugte, sogenannte synthetische Brennstoffe, werden in der Zukunft an Bedeutung gewinnen. Hintergrund dieser Entwicklung sind die hohe Energiedichte und die gute Speicherfähigkeit der flüssigen Brennstoffe. Diese sind für viele Anwendungen wie die Mobilität über grosse Distanzen (Transportwesen) oder Produktionsmaschinen mit langer Betriebsdauer (Baumaschinen) im Vergleich zu anderen Energieträgern von grossem Vorteil. In der Zukunft kann auch aus überschüssigem Strom hergestellter Wasserstoff oder synthetisch erzeugtes Methan dazu gehören.

Die Schweiz verfügt über international anerkannte Kompetenzen in der Verbrennungsforschung. Dazu gehören Forschungsinstitute der Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) und an Fachhochschulen aber auch von zahlreichen global agierenden Herstellern von Verbrennungsmotoren und Gasturbinen. Dies ist durch die lange Tradition

der Schweizer Industrie in diesem Bereich, die seit den Anfängen der Entwicklung der Verbrennungskraftmaschinen bahnbrechende Erfindungen hervorgebracht hat, begründet. Auch zahlreiche Entwickler und Hersteller von peripheren Komponenten wie Turbolader, Einspritzsysteme, Katalysatoren, Partikelfilter, Mess- und Steuersysteme sind in der Schweiz aktiv. Pro Jahr investiert die Schweizer Industrie rund 150 Mio. CHF in die Forschung zur Verbesserung von Verbrennungssystemen.

Die Ziele der vom Bund mitfinanzierten Verbrennungsforschung sind die Erhöhung des (exergetischen) Wirkungsgrads von Verbrennungssystemen, die Verminderung des Verbrauchs an fossilen Brennstoffen und damit der CO₂-Emissionen sowie die Reduktion der Schadstoffe wie Russ, Feinstaub, Stickoxid oder Kohlenwasserstoffe. Hinzu kommt die Optimierung von Verbrennungssystemen für Energieträger aus Biomasse der 2. Generation sowie synthetisch hergestellte Brennstoffe. Die Forschungsziele stimmen auch gut mit den internationalen Bestrebungen überein. Dies wird durch die Forschungsschwerpunkte der Verbrennungsfachgruppe der Internationalen Energieagentur (IEA) [1] bestätigt. Schweizer Forschende sind an mehreren Projekten beteiligt. Im Forschungsprojekt *HERCULES* der Europäischen Union (EU) [2] arbeiten verschiedene Institute des ETH-Bereichs, von Fachhochschulen und Schweizer Industrieunternehmen mit EU-Partnern zusammen. Auch in Forschungsprojekten der deutschen Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen (FVV) [3] sind mehrere Industrieunternehmen und Schweizer Hochschulforscher engagiert.

IEA Klassifikation: 2.1.4 Oil and gas combustion

Schweizer Klassifikation: 1.8 Verbrennung

Programmschwerpunkte

Die Zielsetzungen der Programme *Verbrennung* und *Wärme-Kraft-Kopplung (WKK)* richten sich nach den Vorgaben des Energieforschungskonzepts des Bundes [4].

Verbesserte Forschungsmethoden und -instrumente: Die Instrumente der Forschung wie physikalische Grundlagen, numerische Simulation, Messmethoden und Versuchsträger sind weiter zu entwickeln und an neue Anforderungen anzupassen.

Erhöhung des Systemwirkungsgrads: Der Brennstoffverbrauch und die Schadstoffemissionen werden dadurch reduziert. Wichtig ist der Einbezug des Gesamtsystems und der unterschiedlichen Lastzustände.

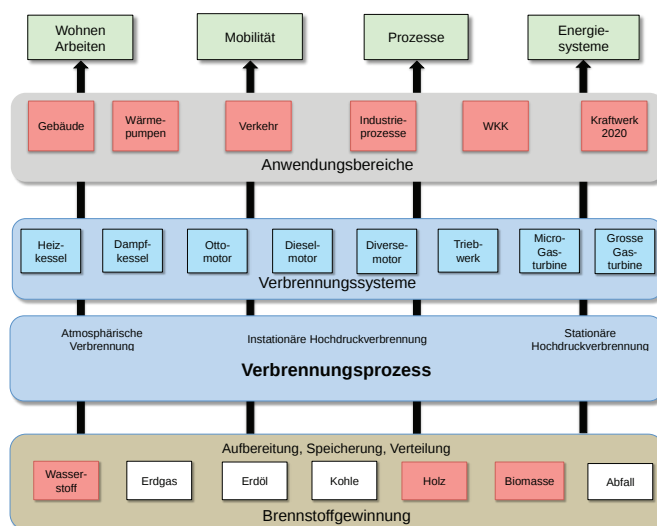
Reduktion von Schadstoffemissionen: International werden die Emissionsvorschriften für Stickoxide, Kohlenwasserstoffe, Kohlenmonoxide sowie Russ und Feinstaub weiter verschärft.

Nutzung verschiedener Energieträger: Zur Verbesserung des Wirkungsgrads und zur Reduktion der Schadstoffe wird auch die Zusammensetzung der Brennstoffe geändert. Hinzu kommt die zunehmende Nutzung von biogenen Brennstoffen.

Effizienzverbesserung bei WKK-Anlagen: Erhöhung des Wirkungsgrads des Gesamtsystems inklusive Abwärmenutzung und Einsatz erneuerbarer Brennstoffe.

Schwerpunkte der Periode 2008–2012:

- Weiterentwicklung der Methoden und -instrumente für konventionelle und für biogene Energieträger.
- Verbesserung und stärkere Vernetzung der experimentellen und numerischen Methoden für die Optimierung des Gesamtsystems «Motor», welches die Prozesskette Gemischbildung–Zündung–Verbrennung–Abgasnachbehandlung umfasst.
- Darstellung von «Null-Emission-Systemen» für die kleinskalige (10 kW bis 100 kW) kombinierte Strom–Wärme–Kälte–Erzeugung.
- Senkung der Wartungskosten von WKK-Anlagen und Erhöhung der Zuverlässigkeit durch Steuerung und Diagnose.



Querschnittstechnologie Verbrennung: Vernetzung mit Forschungsprogrammen des BFE (rot) und den Schwerpunkten des Forschungskonzepts des Bundes (grün).

- Optimierung von Gemischaufbereitung, Verbrennung und Abgasnachbehandlung sowie Minimierung von Schadstoffemissionen beim (Teil-)Einsatz von biogenen Kraftstoffen auch für kleinskalige atmosphärische Systeme.
- Stärkere Vernetzung und Auftritt der Akteure in der Schweizer Verbrennungsforschung und -industrie inkl. Leistungserbringern von Komponenten.

thetischen Kraftstoffen für die Dieselverbrennung sowie für die Entwicklung von Modellen für die emissionsarme Verbrennung biogener Kraftstoffe gestartet.

Ausblick

Durch eine weitere Auflage der alle zwei Jahre stattfindenden Tagung *Verbrennungsforschung in der Schweiz* [5] soll der Stand der Forschungsaktivitäten an Hochschulen und in der Industrie dargestellt und das Netzwerk der diversen Akteure gestärkt werden. Im IEA Implementing Agreement Combustion [1] wird ein Vorschlag für einen neuen Collaborativ-Task mit Schweizer Beteiligung zum Thema *Natural Gas Engines* eingereicht. Zudem sollen zum Thema *Dual Fuel* Forschungsaktivitäten gestartet werden. Damit soll das Wissen über Verbrennungsmotoren, welche gasförmige und flüssige Brennstoffe nutzen können, weiterentwickelt werden. Interessant wird sein, ob der angestrebte elektrische Wirkungsgrad von 35 % im Projekt *Klein-WKK-Anlage mit Null-Schadstoffpotenzial* erreicht werden kann. Das Ziel ist, in einem nächsten Schritt eine Pilotanlage zu realisieren. Im Forschungsbeereich WKK sollen zudem Wärmekraftmaschinen für die Nutzung der Energie aus der Holzverbrennung weiter untersucht werden. Hinzu kommen ähnliche Systeme zur Nutzung der Abgasenergie aus Verbrennungsmotoren.

Rückblick und Bewertung 2012

Verschiedene Projekte konnten erfolgreich abgeschlossen werden; so z. B. das Projekt *Entwicklung schneller Mess- und Rechenverfahren für Dieselmotoren*, in dem ein virtueller Russensor entwickelt wurde. Dadurch wird es möglich, durch Eingreifen in die Motorsteuerung die Russententwicklung zu reduzieren. Im Projekt *CRFD-Simulation für neue motorische Brennverfahren und Kraftstoffe* wurden Rechenmodelle für die Vorhersage der Energieumwandlung und der Emissionsbildung entwickelt. In Ergänzung zum laufenden EU-Projekt *HERCULES* wurde im Projekt *Spray Combustion Chamber von Grossdieselmotoren* der Versuchsträger verbessert, die Messsysteme ausgebaut und Versuche mit Schweröl gefahren. Neue Projekte wurden zur Charakterisierung von syn-

Highlights aus Forschung und Entwicklung

Die an die Verbrennungsforschung gestellten Anforderungen wurden in den letzten Jahren erheblich gesteigert, wodurch die Herausforderungen an die Forschung vielfältiger und umfangreicher geworden sind. Ein Beispiel ist die Euro VI Norm [6], die ab 2013/14 bei schweren Motorfahrzeugen den Grenzwert für Stickoxidemissionen gegenüber 2008/09 um den Faktor 5 tiefer vorschreibt. Gleichzeitig werden höhere Wirkungsgrade der Motoren angestrebt, damit diese weniger Brennstoff verbrauchen und entsprechend die CO₂-Emissionen reduzieren. Die Reduktion der Schadstoffe durch innermotorische Massnahmen und die Verbesserung des Wirkungsgrads sind jedoch gegenläufige Bestrebungen. Die Forschung in der Industrie ist deshalb bereits durch die gesetzlichen Vorgaben gefordert und steht in einem hoch spezialisierten Markt im internationalen Wettbewerb.

Mit der Förderung durch das BFE können Projekte angegangen werden, die auch grundlegende oder neuartige Aspekte der Verbrennungsforschung betreffen. Dazu gehören die Untersuchung der Energiefreigabe der Moleküle im Zündprozess, die Entwicklung von numerischen Simulationsmodellen für biogene Brennstoffe, neuartige Brennverfahren sowie die Schadstoffbildung. Der Aufbau von Versuchsträgern für das

Generieren von Messdaten und die Validation der Modelle, aber auch die Verbesserung von einzelnen Komponenten bis zum gesamten System sind weitere Forschungsbereiche. Projekte haben oft mehrere Themen zum Inhalt und fokussieren nicht nur auf eine Zielsetzung sondern auf Kombinationen davon. Damit kann einerseits die mit hohen Kosten verbundene Erfassung von Daten aus Experimenten für verschiedene Aspekte ausgewertet und genutzt werden. Andererseits wird die vorgenannte Interdependenz von Schadstoffreduktion und Wirkungsgrad besser berücksichtigt und nicht eine einseitige Optimierung vorgenommen. Wie verschiedene Beispiele auch im Berichtsjahr wieder gezeigt haben, finden die Ergebnisse aus den vom BFE unterstützten Projekte eine Fortschreibung und Anwendung in der Industrie.

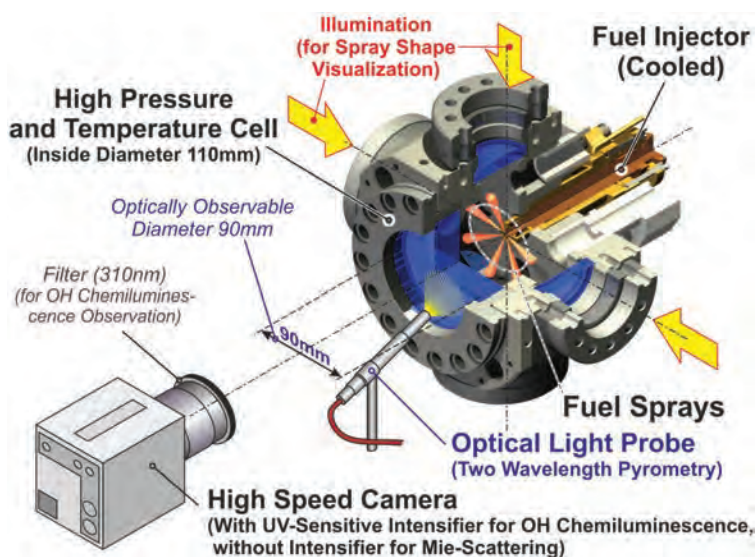
Erfolgreiche Modelle für neue Brennstoffe und Brennverfahren

Die Verfügbarkeit von möglichst genauen prädiktiven Simulationswerkzeugen ist für die Verbesserung von Verbrennungssystemen unerlässlich. Die computergestützten Rechenmodelle müssen jedoch laufend an neue oder geänderte

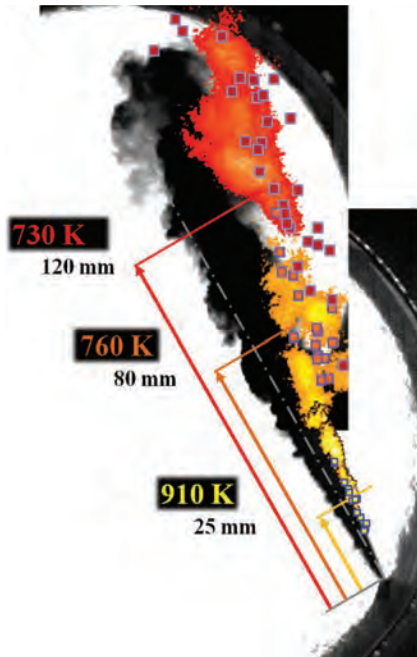
Brennverfahren sowie neuartige Brennstoffe angepasst und weiterentwickelt werden. Im Projekt *CRFD-Simulation für neue motorische Brennverfahren und Kraftstoffe* wurden am LAV (Labor für Aerothermochemie und Verbrennungssysteme) der ETHZ [7] in mehreren Arbeitspaketen Experimente mit verschiedenen Brennverfahren und Brennstoffen durchgeführt. Die gewonnenen Daten wurden für die Verbesserung von vorhandenen Rechencodes genutzt. So wurden an einem als Versuchsträger umgebauten 1-Zylinder-Industriemotor Niedertemperaturbrennverläufe, wie sie für Miller-Brennverfahren typisch sind, untersucht. Hinzu kamen Versuche mit verschiedenen Einspritzdrücken und -verläufen. Daraus wurden umfangreiche Messreihen generiert, die anschliessend auch in einem KTI- sowie in einem CCEM-Projekt verwendet werden.

An einer optisch gut zugänglichen Hochtemperatur-Druck-Zelle (HTDZ) (Figur 1) wurden 6 verschiedene Fischer-Tropsch-Brennstoffe sowie ein synthetischer Dieselpilotbrennstoff als Referenzgröße untersucht. Erfasst wurden der Einspritzprozess, die Versprühung, die Zündung und die Verbrennung (Titelbild). Dieser Projektteil wurde in Zusammenarbeit mit dem Projekt «Futur Fuels for Diesel» der FVV [8] realisiert. Weiter Experimente wurden mit Dieselpilot-Einspritzungen zur Zündung eines Methan-Luftgemisches durchgeführt. Dafür wurde ein Einhubtriebwerk (EHT) verwendet. Es wurden robuste optische und transiente Daten der resultierenden Zweistoffverbrennung erfasst und ein Abgleich des entwickelten Verbrennungsmodells für «Dual Fuel Combustion» realisiert. Dabei wurde eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Modell und Experiment erzielt. Das Projekt wurde auch im Zusammenhang mit den Forschungsvorhaben «Pilot-Einspritzung» und «Miller/Atkinson» der FVV [9] bearbeitet.

Mit den Datensätzen aus den vorgenannten Versuchen, dem Projekt *HERCULES* und in der Literatur dokumentierten Daten wurde die CRFD-Simulation weiterentwickelt. Das Rechenmodell basiert auf der kommerziellen CFD-Software Star CD, die durch das an der ETH weiterentwickelte Conditional Moment Closure Verbrennungsmodell ergänzt



Figur 1: Darstellung der Hochtemperatur-Druck-Zelle der ETHZ, an der Einspritzvorgänge mit 6 verschiedenen Fischer-Tropsch-Brennstoffen durchgeführt wurden.

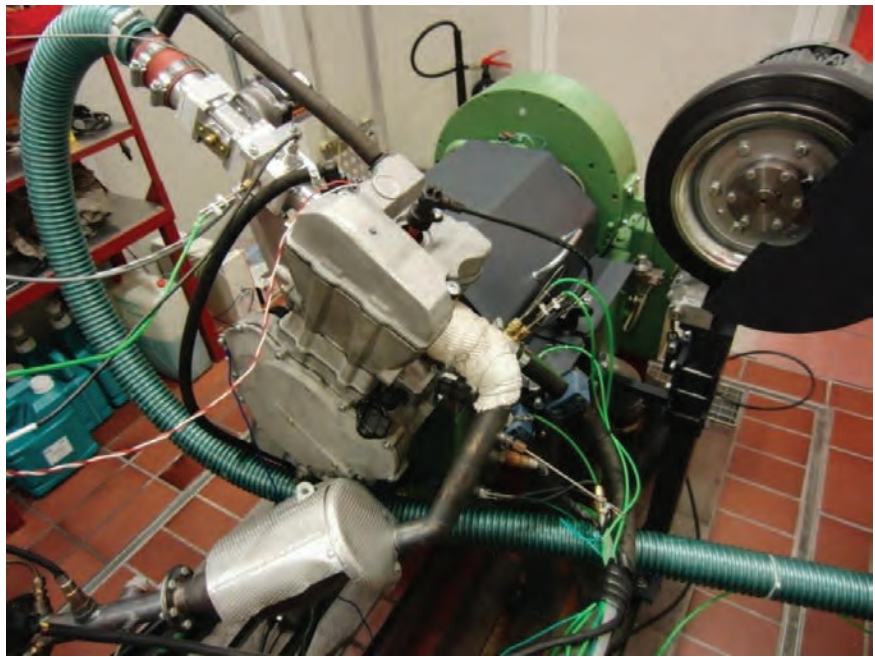


Figur 2: Einfluss der Verbrennungslufttemperatur auf Zündverzögerung, Zündort und Flammausbreitung. Die eingetragenen Punkte zeigen die Zündorte verschiedener Messungen und die Distanzangaben die Entfernung des gemittelten Ortes der Zündung von der Spitze der Einspritzdüse. Bei höherer Temperatur zündet der Brennstoff näher bei der Einspritzdüse und ist durch den Drall im Brennraum noch weniger abgelenkt.

wird. Die Ergebnisse zeigen, dass mit dem CMC-Modell eine breite Palette von physikalischen Prozessen der selbstgezündeten Verbrennung erfolgreich dargestellt werden kann. In einem 2012 gestarteten Projekt sollen detaillierte Reaktionskinetiken von diversen biogenen und synthetischen Brennstoffen in das CMC-Modell miteinbezogen werden.

Hohe Effizienz und geringe Schadstoffemissionen für Motoren aus der Schweiz

In der Schweiz sind mehrere international tätige Motorenhersteller aktiv. So fabriziert der weltweit tätige Baumaschinenhersteller Liebherr [10] seine Motoren seit 1984 in Bulle. 2012 präsentierte Liebherr eine neue Serie Gasmotoren, die für den stationären und mobilen Einsatz konzipiert sind. In verschiedenen vom BFE mitfinanzierten Projekten werden Liebherr-Motoren eingesetzt

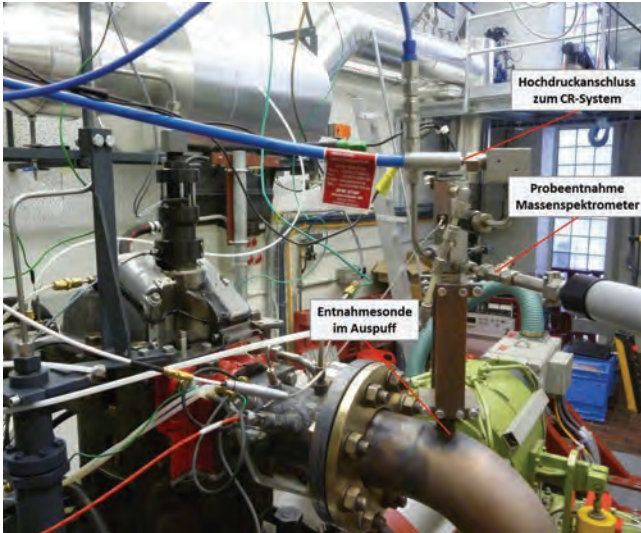


Figur 3: 1-Zylinder-Motor von Swissauto Wenko AG auf dem Prüfstand mit einer Schenk Wirbelstrombremse zur Belastung und Messung der Leistung. Der Motor wurde von Benzinbetrieb auf den Betrieb mit Erdgas umgebaut.

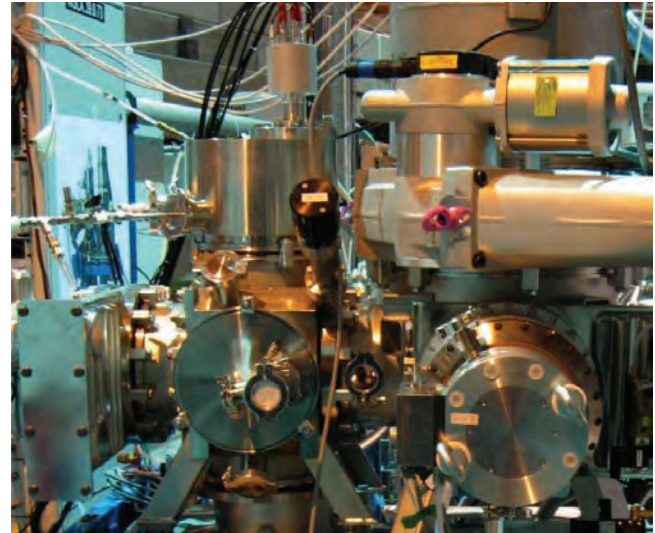
(Schnelle Messverfahren) oder die Firma leistet direkt einen Beitrag (GasPot). Die zum Fiat-Konzern gehörende Fiat Power Train [11] (Iveco bzw. ehemals Saurer) produziert zwar in der Schweiz keine Motoren mehr, betreibt aber in Arbon ein grosses Entwicklungszentrum für Dieselmotoren mit 30 Prüfständen.

In Winterthur entwickelt Wärtsilä Schweiz AG (ehemals Sulzer) [12] die weltweit zu den grössten zählenden Schiffsdieselmotoren mit einem Hubraum von maximal 25'000 Litern und einer Leistung von 80'000 kW. Die Motoren erreichen einen mechanischen Wirkungsgrad von über 50 % und nutzen als Brennstoff Schweröl, das aus nicht mehr verdampfbaren Rückständen der Erdölverarbeitung stammt. Problematisch sind dabei die Schadstoffemissionen, die durch neue Vorschriften in küstennahen Gebieten massiv gesenkt werden müssen. Für Motoren in diesen Dimensionen sind primär innermotorische Massnahmen anzustreben. Im Rahmen des EU-Projekts *HERCULES* entwickelte Wärtsilä [in Zusammenarbeit mit der ETHZ] einen Versuchsträger, welcher den Brennraum eines grossen 2-Takt-Dieselmotors mit einer Bohrung von 500 mm darstellt. Neben Wärtsilä und der ETHZ sind in die-

sem EU-Projekt auch ABB Turbosystems [13], das PSI [14] und die Empa [15] involviert. In Ergänzung dazu unterstützte das BFE im nun abgeschlossenen Projekt *Spray Combustion Chamber* von Grossdieselmotoren zusätzliche Forschungsarbeiten. Projekthinhalte waren das Zündverhalten verschiedener Brennstoffe (von Dieseldieselkraftstoff bis zu Schweröl), die Erweiterung der Anlage durch neuartige Komponenten wie Probenabnahmesonde und Schaugläser, die Verbesserung der Einspritzdüsen und die Weiterentwicklung der optischen Messtechniken. Die Einspritzung von Schweröl in einem Versuchsträger war eine besondere Herausforderung. So musste ein komplett neues Einspritzsystem aufgebaut und die Anlage nach jedem Versuch gereinigt werden. Unter der Variation der Gasdichte wurden mit Hilfe von Schattenbildern die räumliche Ausbreitung, die Eindringtiefe und der Winkel des Sprays vermessen. Die Messtechnik wurde erweitert, um mit schmalbandigem UV-Filter das Zündverhalten zu erfassen (Figur 2). Um die Messresultate nicht zu verfälschen, musste bei der Schwerölverbrennung das Inkandeszenzsignal des Russes mitbestimmt werden. Mit der Phasen-Doppler-Anemometrie konnte die Tropfengrösse und -geschwindigkeit



Figur 4: Eingebaute Gas-Entnahmesonde im Auslasssystem des Einzylindermotors.



Figur 5: Imaging-Photoion-Photoelectron-Coincidence (iPEPICO)-Messeinrichtung an der SLS/VUV-Beamline. Damit können Messungen der kinetischen Energie von Ionen-Fragmenten durchgeführt werden. Diese Eigenschaft ist relevant um die thermochemischen Daten für Moleküle zu bestimmen, die vor der Dissoziation zuerst isomerisieren.

im Spray vermessen werden. Aus den zahlreichen Experimenten konnten grosse Datenmengen gewonnen werden, die für die Weiterentwicklung der Computersimulation genutzt werden. Zudem wurden aus den visualisierten Ergebnissen Erkenntnisse gewonnen, die direkt in die Entwicklung der Einspritzsysteme bei Wärsilä eingeflossen sind. Neben den Forschungsarbeiten im Rahmen des *HERCULES*- und des *BFE*-Projekts wird die Spray Combustion Chamber heute für zahlreiche umsetzungsnahe Untersuchungen von Wärsilä eingesetzt.

Interessant sind auch die Aktivitäten der Firma Wenko [16] aus Burgdorf. Sie entwickelt ihren 1-Zylinder-Motoren, den sie bisher für den Einsatz in Freizeitfahrzeugen herstellte, für die Nutzung als Range-Extender in Elektrofahrzeugen und neuerdings in Zusammenarbeit mit Motorex [17] und dem LAV der ETHZ für ein kleines WKK-System weiter. Im Projekt *Klein-WKK-Anlage mit Null-Schadstoffpotenzial* wird ein solcher 1-Zylinder-Motor mit 0,325 Litern Hubraum (Figur 3) am LAV ETHZ für den stationären Einsatz und die Nutzung von Biogas als Brennstoff angepasst und optimiert. Die Ziele mit einer Kleinanlage einen Wirkungsgrad von 35 % und einen Gesamtwirkungsgrad (inkl. Wärmenutzung) von 90 % bei minimalen Stickoxi-

den ($< 50 \text{ mg/Nm}^3$) zu erreichen sind im Vergleich zum Stand der Technik (26 %) hoch gesteckt. Im Forschungsprojekt wurde bisher bereits ein mechanischer Wirkungsgrad von 33 % erreicht und es wurden weitere Optimierungsmöglichkeiten festgestellt.

Reduktion der Emissionen durch virtuellen Russensor

Die Russbildung und die Russemissionen sind der Hauptnachteil des dieselmotorischen Brennverfahrens. Durch die laufend verschärften Vorschriften wurden Abgasnachbehandlungssysteme wie der Dieselpartikelfilter entwickelt und die Emissionen in vielen Anwendungsbereichen von Dieselmotoren erheblich gesenkt. Um die Rohemissionen der Motoren zu reduzieren und damit die Abgasnachbehandlungssysteme zu entlasten, müssen die Betriebsparameter wie Einspritzzeitpunkt, -mengen und -häufigkeit oder Abgasrezirkulation verändert werden. Im stationären Betrieb kann dies recht gut beherrscht werden. Problematisch ist der transiente Betrieb der Motoren. Dabei kann eine starke Russbildung entstehen, die zudem von Zyklus zu Zyklus unterschiedlich ist.

Im Projekt *Schnelle Mess- und Rechenverfahren für energieeffiziente Dieselmotoren* des LAV der ETHZ wurde eine zyklusgenaue Erfassung der Russbildung angestrebt und verschiedene Motorparameter analysiert und Zusammenhänge geprüft. An einem Heavy-Duty-1-Zylinder-Versuchsmotor (Figur 4) wurde dazu ein schnelles Gasentnahmeventil eingesetzt, das in einem früheren vom BFE unterstützten Projekt entwickelt wurde. Es gelang zyklusgenau Gasproben aus dem Zylinder zu entnehmen und einem Massenspektrometer zuzuleiten. Die Auswertung der Messdaten dauerte jedoch deutlich länger (30 ms) als die Probenahmen (1,5 ms) weshalb keine kontinuierliche Messung über eine Vielzahl von Zyklen durchgeführt werden konnte. Gute Ergebnisse wurden mit einem Drei-Wellenlängen-Pyrometer (Optical Light Probe, OLP) erzielt, das im selben Motor zur Anwendung kam. Das Messsystem wurde in Zusammenarbeit mit Kistler Instrumente AG [18] im Rahmen eines KTI-Projekts entwickelt und konnte nun erfolgreich eingesetzt werden. Es wurde eine gute Übereinstimmung der mittels OLP im Zylinder prognostizierten Russbildung und der im Auspuff gemessenen Russmenge gefunden. Damit wurden Abhängigkeiten unterschiedlicher Motoreinstellparameter auf die Russbildung im

stationären und im transienten Betrieb untersucht. So wurden beispielsweise Einflüsse der Einspritzung (Zeitpunkt, Menge, Anzahl) oder der rezirkulierten Abgase festgestellt. Wichtig war die Erkenntnis, dass nur wenige Arbeitszyklen des Motors für hohe Russmissionen verantwortlich sind.

Aus den gewonnenen Erkenntnissen und einem am LAV erarbeiteten Russmodell wurde ein virtueller Russsensor entwickelt. Mit dem Russensor können die Russmissionen aufgrund von Steuergerätevariablen und aus Zylinderdruckdaten gewonnenen charakteristischen Verbrennungsgrößen, zyklus aufgelöst und online prognostiziert werden. Der Russensor wird mit Abgas-Russmessungen kalibriert und zeigt die im stationären Betrieb resultierende Russbildung sehr gut und ist in der Lage transiente Effekte genügend genau wiederzugeben. Damit lassen sich die Motorparameter nachjustieren und die Russbildung reduzieren. Das in Zusammenarbeit mit der FVV realisierte Projekt stiess auf grosses Interesse der Industrievertreter und soll in einem Folgeprojekt weiterentwickelt werden.

Reaktionen im Mikrobereich

Die Reaktionsmechanismen der Verbrennung finden im Mikrobereich statt. Dazu gehören die Strömung, die Verwirbelung und die Durchmischung der Moleküle vor der Zündung und die Energiefreigabe im Zündprozess. Der Zündvorgang hat einen grundlegenden Einfluss auf den Verlauf der Verbrennung und damit die Entwicklung von Schadstoffen, insbesondere von Russ. Das Zündverhalten wird weitgehend durch Peroxy-Radikale bestimmt. Sie beeinflussen die Art und die Zusammensetzung der anfänglich vorhandenen Zwischenprodukte und somit die Entwicklung der nachfolgenden Reaktionen.

Die thermochemischen Daten von Radikalen erreichen bisher eine zu geringe «chemische» Genauigkeit. Diese schlägt sich in den Simulationsmodellen in der Berechnung der Reaktionsgeschwindigkeit nieder, die innerhalb eines Faktors 10 liegen kann. Damit ist beispielsweise die Entstehung von Stickoxid kaum verlässlich modellierbar. Zur genauen Bestimmung der energetischen und molekularen Zustände (Spinrotationen) der Radikale werden im Projekt *Molecular*

Data of Combustion relevant Radicals am PSI spektroskopische Methoden eingesetzt. Die Herausforderungen sind die Präparation der Radikale in einem Molekularstrahl in ausreichender Dichte (Radikalenquelle) sowie das Beherrschen der Messmethoden zur Bestimmung der Energiefreigabe im exothermen Dissoziationsprozess. Um die Spinrotationen der C_2 und C_3 Radikale bestimmen zu können, wird eine spektroskopische Femtosecond-Two-Colour-Four-Wave-Mixing-Messmethode eingesetzt. Damit ist es erstmals gelungen, deren Triplet-Zustände zu messen. Bei hohen Temperaturen sind diese für die Entstehung von Russ verantwortlich. An der SLS/VUV-Beamline [19] wurde zudem ein iPEPICO-Messaufbau (imaging Phot Electron Photo Ion Coincidence) installiert (Figur 5). Dieser verfügt über bildgebende Detektoren, mit denen die Geschwindigkeit der erzeugten Fragmente und somit die Energie bestimmt werden kann. An den Versuchs- und Messeinrichtungen arbeiten auch andere Forschergruppen, woraus zusammen mit den Engagement in der COST Action CM0901 [20] wertvolle Synergien entstehen.

Nationale Zusammenarbeit

Die Forscherteams der Schweizer Verbrennungsforschung pflegen über zahlreiche gemeinsame Projekte gute Kontakte und dies auch zwischen Hochschulen und Industrie. Dies gilt auch für die vom BFE mitfinanzierten Arbeiten. Zu nennen sind das Projekt *HERCULES*, in dem die ETHZ, das PSI sowie Wärtsilä Schweiz AG und ABB Turbosystems AG Partner sind. Zahlreiche Industriepartner sind auch im Projekt *Schnelle Mess- und Rechenverfahren für die Charakterisierung energieeffizienter Dieselmotoren* direkt oder indirekt involviert. Dazu gehören Kistler Instrumente AG, FPT Motorenforschung AG und Liebherr Machines Bulle SA. Das Projekt *CRFD-Simulation für neue motorische Brennverfahren und Kraftstoffe* ist Teil des vom CCEM geführten Projekts Clean Efficient Large Diesel Engine (CELaDE) [21] in dem eine Zusammenarbeit zwischen der ETHZ, dem PSI und der Empa erfolgt. Im Projekt *Klein-WKK-Anlage mit Null-Schadstoffpotenzial* arbeiten das LAV ETHZ, Wenko AG und Bucher AG Motorex zusammen. Das neu gestartete Projekt Kraftstoffkennzahlen II wird von der Erdöl Vereinigung mitfinanziert. Eine breite Schweizer

Forschungszusammenarbeit erfolgt auch im neuen Projekt *GasPot* (MEMS, Liebherr, Empa und Mitfinanzierung FOGA) sowie im Projekt *Xhost Harvester II* (Oekozentrum, Liebherr Machines Bulles SA, Walter Schmid). Im Projekt *Design, operating strategies and potenzial of a biogenic CHP swarm* findet eine Zusammenarbeit verschiedener ETH-Institute statt. Das Projekt wird durch SwisselectricResearch [22] sowie die BFE-Forschungsprogramme *Biomasse* und *Holzenergie*, Netze und WKK finanziert.

Jährlich wird an der ETHZ die *Conference on Combustion Generated Nanoparticles* [23] die Problematik der durch die Verbrennung erzeugten Partikel interdisziplinär behandelt. Die Themen der Referate spannten den Bogen von der Partikelentstehung in der Verbrennung, über die Abgasnachbehandlung, zur Messtechnik sowie zu den atmosphärischen Vorgängen und zu den biologisch-medizinischen Wirkungsaspekten. Die vom LAV ETHZ mit TTM A. Mayer organisierte Veranstaltung findet national und international bei technisch wie auch medizinisch orientierten Fachleuten grosses Interesse.

Internationale Zusammenarbeit

In mehreren vom BFE-Projekten erfolgt eine internationale Zusammenarbeit mit Hochschulen und Industriepartnern. Dazu gehört das von der EU im Rahmen des Forschungsrahmenprogramms FP7 mitfinanzierte Projekt *HERCULES*. Das Projekt *Klein-WKK-Anlage mit Null-Schadstoffpotenzial* enthält ein Arbeitspaket *AGR bei Gasmotoren mit extremen Steuerzeiten*, das im Auftrag der FVV erfolgt und zusammen mit dem Lehrstuhl für Verbrennungskraftmaschinen der TU München bearbeitet wird. Auch das Projekt *CRFD-Simulation für neue motorische Brennverfahren und Kraftstoffe* wird parallel zu Projekten der FVV bearbeitet, mit entsprechender Zusammenarbeit mit anderen Forschungsstellen in Deutschland. Im Projekt *Molecular data of combustion relevant radicals* bestehen gute Kontakte zu Forschergruppen an der ETHZ und an den Universitäten Basel und Bern.

Ein wichtiger Informationsaustausch und die Gelegenheit, die Schwerpunkte der Verbrennungsforschung international mitzugestalten, erfolgt in der Mitarbeit in Arbeitsgruppen der Internationalen Energieagentur (IEA). Grössere Aktivitäten von Schweizer Forschenden erfolgen im IEA IA Combustion. Deren Ziel ist, die Entwicklung von Verbrennungstechnologien, die einen verminderten Brennstoffverbrauch und geringere Emissionen aufweisen, voranzutreiben. Die Forschungsthemen werden in Collaborative Tasks bearbeitet. Dazu gehören Gas Turbines, Sprays in Combustion, Alternative Fuels in Combustion und Nanopar-

ticle Diagnostics zu denen Schweizer Forschende Beiträge leisten sowie Hydrogen Internal Combustion Engines und Homogeneous Charge Compression Ignition. Die Mitarbeit der Schweiz sichert eine Vertretung der Interessen im Bereich Verbrennung, eine Mitwirkung bei der Festlegung zukünftiger Schwerpunkte, die Vermittlung Schweizerischer Forschungsergebnisse, die Bekanntmachung der Firmen aus der Schweiz sowie die Weitergabe der Informationen über internationale Aktivitäten an Interessierte in der Schweiz.

Im IEA AMF [24] Agreement hat die Schweiz 2012 den Vorsitz übernommen und ist in Arbeitsgruppen vertreten. Das IEA AMF will die internationale Forschungsnetzwerk bei der Erforschung und Entwicklung, bei der Implementierung und Verbreitung von sauberen, energieeffizienten und nachhaltigen Treibstoffen und den damit zusammenhängenden Fahrzeugtechnologien fördern.

Bei den zur Working Party for Fossil Fuels (WPFF) [25] gehörenden Implementing Agreements *Greenhouse Gas R&D Programme*, *Enhanced Oil Recovery* und das *IEA Clean Coal Centre* sind die Verbesserung des Wirkungsgrads von grossen mit fossilen Brennstoffen befeuerten Kraftwerken und in diesem Kontext Verfahren zur Elimination des CO₂ wichtige Themen. In aktuelle Überlegungen fliessen auch Aspekte der Nutzung von CO₂ mit ein. Die Schweiz hat 2012 intensiv an der Ausarbeitung eines neuen Implementing Agreement Gas and Oil Technologies (GOT IEA) mitgewirkt.

Referenzen

- [1] IEA IA Combustion (www.ieacombustion.net).
- [2] High-efficiency Engine R&D on Combustion with Ultra-low Emissions for Ships (HERCULES), EU-FP7.
- [3] Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e.V. (www.fvv-net.eu/)
- [4] Konzept der Energieforschung des Bundes 2008 bis 2012.
- [5] Tagung «Verbrennungsforschung in der Schweiz», 2011.
- [6] EU Emission Standards for HD Diesel Engines: VERORDNUNG (EG) Nr. 595/2009.
- [7] Laboratorium für Aerothermochemie und Verbrennungssysteme, ETHZ (www.lav.ethz.ch).
- [8] Futur Fuels for Diesel, FVV, 2012.
- [9] Pileinspritzung, Miller/Atkinson, FVV, 2012.
- [10] Lieberherr Machines Bulles SA, (www.lieberherr.com)
- [11] FPT Motorenforschung AG, Arbon, (www.fpt-motorenforschung.ch)
- [12] Wärtsilä (Schweiz) AG (www.wartsila.com/en_CH)
- [13] ABB Turbo Systems AG, Baden (www.abb.ch/turbocharging)
- [14] PSI Paul Scherrer Institut, Villigen (www.psi.ch)
- [15] Empa, Abteilung Verbrennungsmotoren (www.Empa.ch)
- [16] Wenko AG Swissauto, Burgdorf (www.swissauto.com/)
- [17] Bucher AG Langenthal Motorex (www.motorex.ch)
- [18] Kistler Instrumente AG, Winterthur, (www.kistler.com)
- [19] SLS/ VUV Beamline Swiss-Light-Source beamline for Vacuum Ultraviolet Radiation, PSI
- [20] COST Action CM 901 Detailed Chemical Kinetic Models for Cleaner Combustion (www.ensic.inpl-nancy.fr/cost/)
- [21] Clean Efficient Large Diesel Engine (CELaDE) (www.ccem.ch)
- [22] SwisselectricResearch (www.swisselectric-research.ch)
- [23] NCCR-MUST (www.nccr-must.ch/home.html)
- [24] IEA IA Advanced Motor Fuels (www.iea-amf.org)
- [25] IEA Working Party on Fossil Fuels (IEA-WPFF) (www.iea.org)

Laufende und im Berichtsjahr abgeschlossene Projekte

(* IEA-Klassifikation)

- ERWEITERUNG UND VALIDIERUNG DER CRFD-SIMULATION FÜR NEUE MOTORISCHE BRENNVERFAHREN UND KRAFTSTOFFE**

R&D 2.1.4*

Lead:	ETHZ-LAV	Funding:	BFE
Contact:	Boulouchos Konstantinos boulouchos@lav.mavt.ethz.ch	Period:	2008–2012

Abstract: Erweiterung von Simulationswerkzeugen und experimentellen Validierung für neue Kraftstoffe und entsprechend ausgelegte Brennverfahren. Motorischen Experimente werden an einem neuen Versuchsträger zur Validierung der Simulation für grössere Dieselmotoren durchgeführt. Optische Experimente an Modellbrennkammern liefern zusätzlich Daten zum grundlegenden Verständnis des Zünd-, Verbrennungs- und Emissionsverhaltens neuer, synthetische Kraftstoffe.
- ENTWICKLUNG SCHNELLER MESS- UND RECHENVERFAHREN FÜR ENERGIEEFFIZIENTE DIESELBRENNVERFAHREN**

R&D 2.1.4

Lead:	ETHZ-LAV	Funding:	BFE
Contact:	Boulouchos Konstantinos boulouchos@lav.mavt.ethz.ch	Period:	2008–2012

Abstract: Entwicklung schneller messtechnischer und Modellierungsmethoden zur Optimierung des Zusammenspiels zwischen motorischem Brennverfahren und Abgasnachbehandlung, insbesondere der SCR-basierten Entstickung von „medium“- und „heavy-duty“ Dieselmotoren. Ziel ist die Erfüllung zukünftiger Emissionsvorschriften (z. B. EURO 6) möglichst mit einer Erhöhung des Gesamtwirkungsgrads (CO₂-Reduktion).
- ENTWICKLUNG SCHNELLER MESS- UND RECHENVERFAHREN FÜR ENERGIEEFFIZIENTE DIESELBRENNVERFAHREN**

R&D 2.1.4

Lead:	ETHZ-LAV	Funding:	BFE
Contact:	Boulouchos Konstantinos boulouchos@lav.mavt.ethz.ch	Period:	2008–2012

Abstract: Entwicklung schneller messtechnischer und Modellierungsmethoden zur Optimierung des Zusammenspiels zwischen motorischem Brennverfahren und Abgasnachbehandlung, insbesondere der SCR-basierten Entstickung von „medium“- und „heavy-duty“ Dieselmotoren. Ziel ist die Erfüllung zukünftiger Emissionsvorschriften (z. B. EURO 6) möglichst mit einer Erhöhung des Gesamtwirkungsgrads (CO₂-Reduktion).
- INFLUENCES OF BIOCOMPONENTS (FAME) ON EMISSIONS AND ON EXHAUST SYSTEMS OF HD-DIESEL ENGINES (BIOEXDI)**

R&D 2.1.4

Lead:	BFH TI - AFHB	Funding:	BFE
Contact:	Czerwinski Jan Jan.Czerwinski@bfh.ch	Period:	2009–2012

Abstract: Untersuchung der Auswirkungen von Kraftstoffen mit zugemischten Biokomponenten (RME) auf die Abgasnachbehandlungssysteme von Dieselmotoren. Versuche und Messungen mit B0, B7, B20, B30, B100 mit/ ohne Katalysator (SCR) und Dieselpartikelfilter (DPF). Untersuchung der Regenerationsvorgänge und Ablagerungen im DPF.
- WEITERENTWICKLUNG EINES REFERENZEXPERIMENTS ("SPRAY COMBUSTION CHAMBER") IN BEZUG AUF DIE OPTIMIERUNG DES VERBRENNUNGSSY (HERCULES)**

R&D 2.1.4

Lead:	Wärtsilä Schweiz AG	Funding:	BFE
Contact:	Herrmann Kai kai.herrmann@wartsila.com	Period:	2009–2012

Abstract: Weiterentwicklung eines neuartigen Versuchsträgers mit optischer Zugänglichkeit, der die Brennkammer eines grossen Zweitakt-Schiffsdieselmotors nachbildet und die Untersuchung innermotorischer Vorgänge unter typischen Bedingungen ermöglicht. Verbessern des Verständnisses von verbrennungsrelevanten Prozessen für die Validierung und weitere Entwicklung von Simulationsmodellen.
- MODELING OF ENERGY CONVERSION PROCESSES AT THE MICROSCALE**

R&D 2.1.4

Lead:	PSI-Combustion	Funding:	BFE
Contact:	Mantzaras Ioannis ioannis.mantzaras@psi.ch	Period:	2009–2012

Abstract: Entwicklung numerischer Modelle zur Darstellung der wichtigsten Prozesse von thermochemischer und elektrochemischer Energiewandlung in Mikrokanälen. Entwicklung neuer Lattice Boltzmann Modelle für Multispezies, nicht isotherme, reaktive und komplexe dreidimensionale Mikroströmungen. Das resultierende Berechnungsmodell wird auch für die Simulation von chemisch reaktiven Strömungen genutzt werden können.
- AUSLEGUNG UND REALISIERUNG VON WKK-ANLAGEN MIT „NULL“- SCHADSTOFF-POTENZIAL UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG BIOGENER ENERGIETRÄGER**

R&D 2.1.4

Lead:	ETHZ-LAV	Funding:	BFE
Contact:	Boulouchos Konstantinos boulouchos@lav.mavt.ethz.ch	Period:	2011–2013

Abstract: Klein-WKK-Anlage (≤ 10 kWel.) mit el. Wirkungsgrad 35 % und „Null“-Schadstoff-Potenzial mit Erdgas. Erweiterung auf Biogase geplant. Für die optimale Auslegung des 1 Zylindermotors werden reaktionskinetische und strömungstechnische Grundlagen, insbesondere für den Einsatz gekühlter Abgasrückführung, erarbeitet. Nutzung dieser Grundlagen für Gasmotoren auch im Rahmen eines Projekts mit der FVV.

● **MOLECULAR DATA OF COMBUSTION RELEVANT RADICALS**

R&D 2.1.4

Lead:	PSI-Combustion	Funding:	BFE
Contact:	Thomas Gerber thomas.gerber@psi.ch	Period:	2011–2014
Abstract:	Der Zündvorgang hat einen grundlegenden Einfluss auf den Verlauf der Verbrennung und damit die Entwicklung von Schadstoffen, insbesondere von Russ. Die thermochemischen Daten der Radikale im Zündprozess sollen mit spektroskopischen Messungen im ns - μ s-Bereich genauer als bisher bestimmt werden. Problematisch ist die Erzeugung der Radikale. Zusammenarbeit mit EU-COST-Action 901 und NCCR-MUST.		

● **CHARAKTERISIERUNG VON HOCHSIEDENDEN/TEILSYNTHETISCHEN KRAFTSTOFFEN FÜR HOMOGENE UND TEILHOMOGENE DIESELVERBRENNUNG**

R&D 2.1.4

Lead:	ETHZ-LAV	Funding:	BFE
Contact:	Boulouchos Konstantinos boulouchos@lav.mavt.ethz.ch	Period:	2012–2016
Abstract:	Experimentelle Charakterisierung teilsynthetischer hochsiedender Kraftstoffe und Entwicklung korrespondierender Reaktionsmodelle für die vollständig homogene selbstzündende Verbrennung (HCCI). Untersuchung der Übertragbarkeit für teilhomogene Verfahren. Erarbeitung einer Kennzahl, welche die Zündwilligkeit der untersuchten Kraftstoffe zuverlässig charakterisiert und die motorische Brennverfahrensentwicklung massgeblich unterstützt.		

● **3D-CRCD MODELLE FÜR CO₂- UND EMISSIONSARME MOTORISCHE BRENNVERFAHREN BEI DER DIFFUSIONSGESTEUERTEN VERBRENNUNG BIOGENER/SYNTHETISCHER KRAFTSTOFFE**

R&D 2.1.4

Lead:	combustion and flow solutions GmbH	Funding:	BFE
Contact:	Christian Lämmle laemml@combustion.flow-solutions.com	Period:	2012–2016
Abstract:	Weiterentwicklung eines 3D-CRFD-Modells hinsichtlich Auslegung von CO ₂ - und emissionsarmen motorischen Brennverfahren bei der diffusionsgesteuerten Verbrennung. Fokus der Erweiterungen sind Dieselsurrogate und biogene sowie synthetische Kraftstoffe unter Verwendung detaillierter Reaktionskinetiken, um quantitative Vorhersagen von motorisch relevanten Parametern zu ermöglichen		

● **«GASPOT» POTENZIALE VON BRENNVERFAHREN IN GASMOTOREN FÜR UNTERSCHIEDLICHE GASQUALITÄTEN, DETEKTION VON GASPARAMETERN MITTELS NEUARTIGER SENSORIK**

R&D 2.1.4

Lead:	Empa	Funding:	BFE
Contact:	Patric Soltic patrik.soltic@empa.ch	Period:	2012–2014
Abstract:	Erd- und Biogas kann örtlich und zeitlich grosse Schwankungen in der chemischen Zusammensetzung aufweisen. Dies führt zu Problemen bzw. zu ungenutzten Potenzialen in der verbrennungsmotorischen Nutzung in WKK Anlagen, Nutzfahrzeug-, PW- und Schiffsantrieben. Es soll erforscht werden, wie die dem Motor zugeführte Gasqualität mittels eines Sensors quantifiziert und damit das Brennverfahren adaptiert bzw. weiterentwickelt werden kann.		

● **XHOST HARVESTER - EINFACHE UND WIRKUNGSVOLLE EFFIZIENZSTEIGERUNG FÜR STATIONÄRE ANTRIEBE**

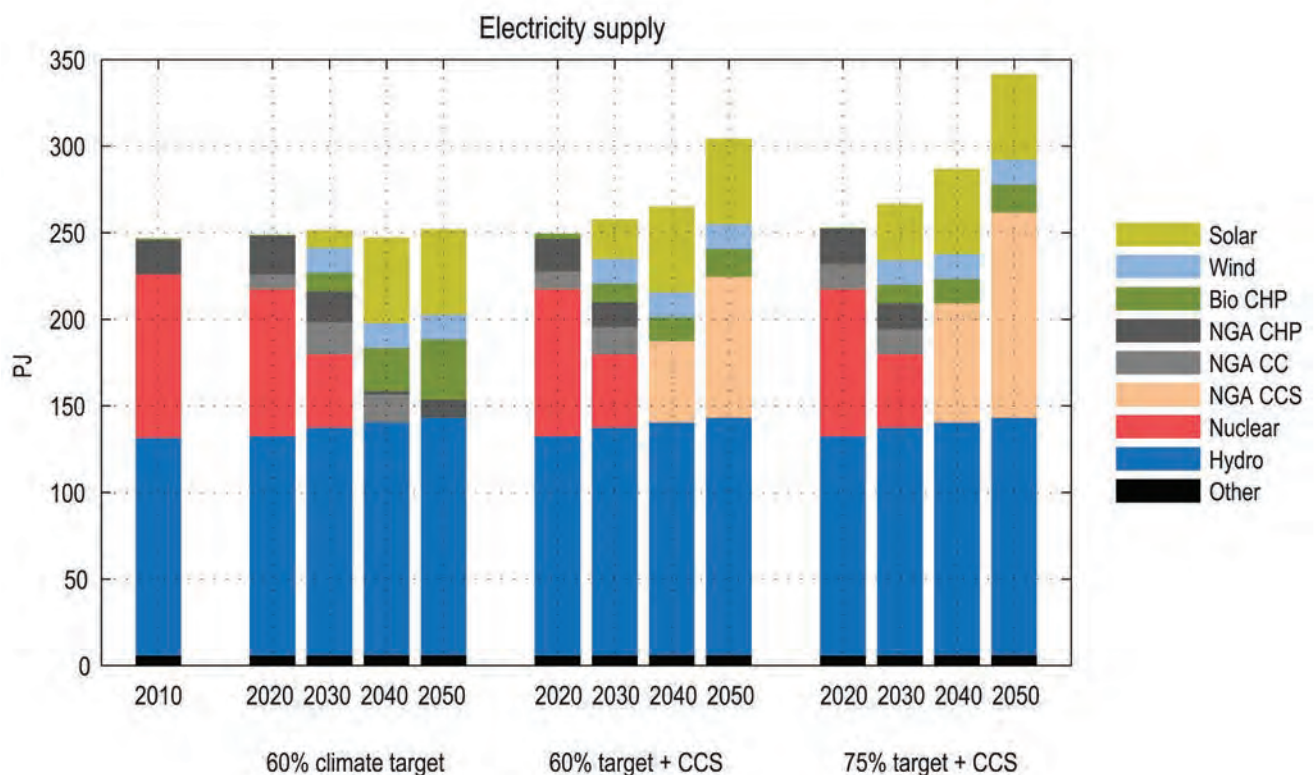
R&D 2.1.4

Lead:	Oekozentrum	Funding:	BFE
Contact:	Martin Schmid martin.schmid@oekozentrum.ch	Period:	2012–2013
Abstract:	Xhost Harvester erzeugt aus der Auspuffabhitze eines Antriebes einen Unterdruck, der via Turbolader die Leistung und die Effizienz des Antriebes steigern kann. Feldversuche zeigten bei bis zu 11 % Mehrleistung eine Senkung des spez. Verbrauches von 1,3 % bis 7 %. Simulationen und Prüfstandsversuche sollen belastbare Aussagen und Zahlen, sowie wissenschaftliche Erklärungen für diese Effizienzsteigerungsmaßnahme liefern.		



Peter Jansohn

Kraftwerk 2020 und Carbon Capture & Storage (CCS)



Gaskraftwerke (mit oder ohne CO₂-Abscheidung) können ökonomisch sinnvoller Bestandteil eines zukünftigen Kraftwerksparks in der Schweiz sein

In einer kostenoptimierten Analyse zukünftiger Energieszenarien für die Schweiz können Gaskraftwerke (sowohl ohne, als auch mit CO₂-Abscheidung) eine nicht unbedeutende Rolle spielen, insbesondere wenn ab 2030 CO₂-Abscheidetechniken (Carbon Capture and Storage, CCS) 2030 verfügbar sind.

Einleitung

Mit der im Jahr 2012 angekündigten Energiestrategie der Schweiz für den Zeitraum bis zum Jahr 2050 wird die Schweiz ab etwa 2035 ihren Strombedarf ohne Kernkraftwerke bereitstellen müssen. Durch den steigenden Strombedarf, das Auslaufen von Stromimportverträgen und die sukzessive Abschaltung der bestehenden nuklearen Kraftwerksanlagen zeichnet sich allenfalls auch bei einem massiven Zubau erneuerbarer Stromerzeugungskapazitäten für den Zeitraum um das Jahr 2020 ein Engpass in der Stromversorgung ab. Um diese vorhersehbare Versorgungslücke zu schliessen, sind zusätzliche Anstrengungen auf unterschiedlichen Ebenen zu leisten (rationelle Stromverwendung, dezentrale Kraft-/Wärme-Kopplung, Ersatz von Stromerzeugungskapazitäten usw.). Eine wichtige Option für die Elektrizitätserzeugung in der Schweiz (insbesondere in der Funktion als «Brückentechnologie» für die Jahrzehnte 2020–2050) stellen Kombi-Kraftwerke auf Erdgas-Basis dar, die aufgrund ihrer für thermische Kraftwerke hohen Effizienz, ihres niedrigen Schadstoffausstosses und ihrer hohen betrieblichen Flexibilität kurz-/mittelfristig in der Stromerzeugung und der Stabilisierung der Stromversorgung von grosser Bedeutung sind. Diese Kraftwerkstechnik ist auch deshalb für die Schweiz von besonderem Interesse, weil Schweizer Industriefirmen und Forschungsorganisationen in der Weiterentwicklung dieser Technologie führend tätig sind und sich somit ein hohes Umsetzungspotenzial sowohl in der Schweiz als auch weltweit bietet.

Um auch die klimapolitischen Zielsetzungen der Schweiz zu erfüllen, sind bei einem zusätzlichen Einsatz von Erdgas für die Stromerzeugung flankierende Massnahmen zu ergreifen, die gewährleisten, dass die CO₂-Emissionen aus dem gesamten schweizerischen Energiesys-

tem wie beabsichtigt drastisch gesenkt werden können. Die Prozessführung des Kraftwerks ist so zu gestalten, dass alternative (kohlenstoffarme) Brennstoffe eingesetzt werden können und CO₂ ganz oder teilweise abgeschieden werden kann und nicht in die Atmosphäre gelangt. Auch die Strategie der Kombination von modernen, effizienten Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen mit Wärmepumpen muss weiterhin verfolgt und umgesetzt werden.

Das Programm *Gas- und Dampf-Kraftwerke mit CO₂-Abscheidung (Kraftwerk 2020)* umfasst deshalb all diese Themenbereiche (Effizienz in der Stromerzeugung, CO₂-Minderung, flexible/abrufbare Betriebsweisen) wobei Prozesse ausserhalb des eigentlichen Kraftwerks, wie z. B. die externe Brennstoffaufbereitung zur CO₂-Abtrennung und die CO₂-Lagerung und (wo möglich) CO₂-Wiederverwendung (zusammengefasst unter dem Begriff «Carbon Capture, Use and Storage» CCUS) integraler Bestandteil des Programms sind.

Aufgrund des begrenzten finanziellen Rahmens kann das Programm aber nur einen signifikanten Beitrag leisten, indem eine starke Fokussierung auf einzelne Schlüsselkomponenten (wie z. B. Kompressoren, Turbinen, Generatoren) und Schlüsseltechnologien (Turbomaschinen-Aerodynamik, Hochdruck-Verbrennung, Wärmeübertragung/Kühlung) erfolgt.

Um der zeitlichen Zielsetzung des Forschungsprogramms gerecht zu werden, im Jahre 2020 die notwendigen Technologien einsatzbereit entwickelt zu haben, müssen die dazu erforderlichen Basistechnologien spätestens im Jahr 2015 verfügbar sein. Die Konzentration der Programm-Aktivitäten auf Schlüsselgebiete der Dampf- und Gasturbinentechnik inkl. Generatoren ist auch aus diesen zeitlichen Aspekten heraus erforderlich.

IEA Klassifikation: 1.1 Industry

Schweizer Klassifikation: 1.9 Kraftwerk 2020 und CCS

Programmschwerpunkte

Ein wesentliches Ziel des Programms ist es, durch Bündelung der Aktivitäten und durch Koordination der Ausrichtung individueller Projekte zu einer Stärkung des Forschungs- und Industriestandortes Schweiz im Bereich fortschrittlicher Gaskraftwerke mit reduziertem CO₂-Ausstoss zu gelangen. Dadurch soll sichergestellt werden, dass die bestgeeigneten Technologien bzw. Systeme für die Stromerzeugung in der Schweiz zum Einsatz kommen können. Die schweizerische Kraftwerksindustrie inklusive der Zulieferfirmen und des unterstützenden, akademischen Umfelds ist im internationalen Vergleich sehr gut aufgestellt, hat eine starke Marktstellung und ein grosses Umsetzungspotenzial.

Zentrales technisches Ziel des Programms ist die Maximierung des elektrischen Wirkungsgrads eines kombinierten Gas- und Dampfturbinenprozesses. Ein Wert von deutlich über 60 % (Zielbereich: 62–63 %) auf Basis Erdgas soll erreicht werden. Dies wird erwartungsgemäss dem im Jahr 2020 weltweit besten Standard entsprechen. Mit einem hohen elektrischen Wirkungsgrad (bzw. einem hohen Gesamt-Wirkungsgrad bei gleichzeitiger Wärmeauskopplung) lassen sich bereits signifikante Einsparungen der CO₂-Emissionen pro erzeugter kWh erreichen.

Ein weiteres Ziel ist die Steigerung des Einsatzes von erneuerbaren, CO₂-neutralen Brennstoffen (insbesondere Biomasse-basierenden Vergasungsprodukten) auf ca. 15 % des gesamten Energieeinsatzes im produktiven Betrieb. Ferner sollen mit dem Einbezug von prozesstechnischen Varianten für die erleichterte Abscheidung und Rückhaltung von Kohlendioxid (CO₂) darüber hinausgehende CO₂-Emissionsminderungspotenziale (Reduktion der CO₂-Freisetzung um 80 %) ausgenutzt werden.

Durch den zukünftig verstärkten Einsatz fluktuierender, erneuerbarer Stromerzeugungstechnologien wie Wind und Photovoltaik werden Stromversorgungsnetzwerke stärkeren, kurzfristigeren Produktionsschwankungen unterworfen sein, die durch andere Stromerzeuger kompensiert oder in geeigneter Weise zwischengespeichert werden müssen.

Ein weiteres Ziel des Programms ist es deshalb, Gasturbinen-Kraftwerke noch besser zu befähigen, die Stabilisierung des Stromversorgungsnetzes zu übernehmen. Dazu müssen Techniken entwickelt werden, die höhere Lastgradienten (+/-3 % Last pro Sekunde) oder gar eine Netzfrequenz unabhängige Betriebsweise erlauben. Gross-skalige Strom- bzw. Energiespeichertechnologien (über 1 MWh) im direkten Kraftwerksumfeld sollen deshalb neu ebenfalls im Programm mit enthalten sein.

Die Umsetzung dieser Schwerpunkte soll zukünftig mit einem etwa gleichgewichtigen Einsatz der Programmmittel einhergehen (Wirkungsgradsteigerung: 30 %; CO₂-Minderung: 35 %; Netzzun-terstützung: 35 %).

Neben der Förderung durch das Bundesamt für Energie (BFE) werden die für dieses Forschungsprogramm relevanten Projekte durch finanzielle Mittel der Förderagentur für Innovation (KTI), sowie des Forschungsfond der schweizerischen Elektrizitätswirtschaft (Swisslectric Research) und der Europäischen Gemeinschaft im Zusammenhang mit dem 7. Forschungsrahmenprogramm (FP7) unterstützt.

Rückblick und Bewertung 2012

Nach dem Übergangsjahr 2009, in dem fast alle Projekte der Programm-Anfangsphase abgeschlossen wurden, haben sich im Jahr 2012 die thematisch ähnlichen Folgeprojekte bereits wieder in einem weit fortgeschrittenen Projektstadium befunden und stehen grossteils bereits wieder vor dem Abschluss. Zudem konnten wieder thematisch neu orientierte Projekte gestartet werden, die bisher vorhandene Lücken im Projekt-Spektrum weiter schliessen. Das Programm befindet sich nun in einer Phase der kontinuierlichen Erneuerung des Projektportfolios, welches die modifizierte Ausrichtung (stärkere Betonung von CCS-Themen) deutlich widerspiegelt. Mit neu lancierten Projekten wurde der thematisch schwächer besetzte Bereich («dynamische Netzstabilisierung»; «flexible Betriebsweisen») weiter gestärkt

und die Bearbeitung der Schwerpunkt-Themenfelder abgerundet. Der zur Verfügung gestellte Finanzrahmen aus BFE-Mitteln war durch laufende Projekte bereits weitgehend ausgeschöpft und liess dementsprechend auch 2012 nur wenig Spielraum für eine Erweiterung des Projekt-Portfolios.

Ausblick

Aufgrund der Sistierung der Neubaupläne für Kernkraftwerke in der Schweiz ist allerdings das Thema «Gaskraftwerke in der Schweiz» wieder viel stärker in den Fokus der Energiediskussion gerückt. Eine wesentliche Aufstockung von Finanzierungsmitteln ist für P&D-Projekte vorgesehen. Im Bereich P&D des Programms *Kraftwerk 2020* sind deshalb mehrere Projektideen in Diskussion, die sich um diese Mittel bewerben möchten. Am weitesten gediehen sind die Vorarbeiten für ein P&D-Projekt im Themenbereich «CCS – Carbon Capture and Storage». Zusammen mit einer P&D-Anlage, die erstmalig in Europa eine industrielle Gasturbine mit Abgas-Rezirkulation betreiben soll, ist ein CO₂-Speichertest vorgesehen, der die Tauglichkeit des Untergrunds im Schweizer Mittelland als CO₂-Speichermittel unter Beweis stellen soll.

Highlights aus Forschung und Entwicklung

Das Verbund-Projekt *CARMA – carbon management in power generation*, an welchem sich verschiedene Institutionen des ETH-Bereichs (ETHZ, EPFL, PSI), die Uni Bern und die Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) beteiligt haben, ist im Dezember 2012 abgeschlossen worden. Neben dem BFE haben zur Finanzierung insbesondere die Kompetenzzentren des ETH-Bereichs (CCEM – Competence Center Energy & Mobility, CCES – Competence Center Environment & Sustainability), sowie SwisselectricResearch und Alstom beigetragen. Ziel des *CARMA*-Projektes war es, insbesondere unter Berücksichtigung der speziellen Schweizer Verhältnisse, Grundlagen zu erarbeiten, mit welchen Techniken die Stromerzeugung (mit Einbezug auch fossiler Brennstoffe) möglichst CO_2 -neutral ausgeführt werden können.

Gasturbinen-Kraftwerksprozesse mit CO_2 -Abscheidung

Im Projekt *CARMA* wurden verschiedene technische Optionen von Gasturbinen-Kraftwerksprozessen mit CO_2 -Abscheidung auf Basis thermodynamischer Modellansätze untersucht und optimiert, und deren ökonomische und umweltrelevante Auswirkungen (Life Cycle Assessment, LCA) bewertet. Be-

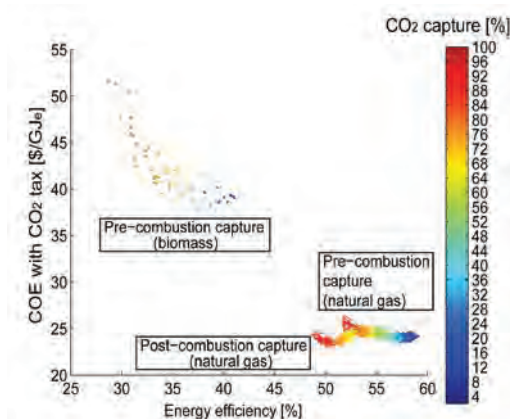
züglich des technischen (Optimierungs-) Potenzials wurden schwerpunktmässig Verfahrensvarianten betrachtet, die eine Brennstoffaufbereitung und Kohlenstoff-Abscheidung vor dem Verbrennungsprozess vorsehen. Diese Prozessvarianten versprochen höhere elektrische Wirkungsgrade als Verfahrensvarianten, die mit hohem Energieaufwand das stark verdünnte Kohlendioxid (CO_2) aus den Abgasen abtrennen, sind aber nur für Neuanlagen geeignet (keine Retrofit-Lösung für bestehende Anlagen) und führen dazu, dass im eigentlichen Kraftwerksprozess wasserstoffreiche Brenngase beherrscht werden müssen (s. unten). Mit Hilfe einer neu entwickelten, variablen sog. Superstruktur konnten verschiedene Verfahrensvarianten mit unterschiedlichen Teilprozessschritten modelliert und quantitativ miteinander verglichen werden (hinsichtlich technischer Parameter wie z. B. dem elektrischen Wirkungsgrad, aber auch in Bezug auf ökonomische Kenngrößen wie z. B. den Stromgestehungskosten oder den spezifischen CO_2 -Abscheidungskosten). Durch die Einbindung dieser thermo-ökonomischen Modellrechnungen in einen Optimierungsalgorithmus konnten sog. Pareto-Kurven ermittelt werden, die eine Übersicht vermitteln, welche Verfahrensvarianten jeweils optimale Ergebnisse ergeben (Fig. 1), je nachdem welche – sich teilweise entgegenstehende – Erfolgsparameter definiert werden

(z. B. minimale Stromkosten, minimale CO_2 -Abscheidungskosten, maximaler elektrischer Wirkungsgrad, maximaler CO_2 -Abscheidegrad).

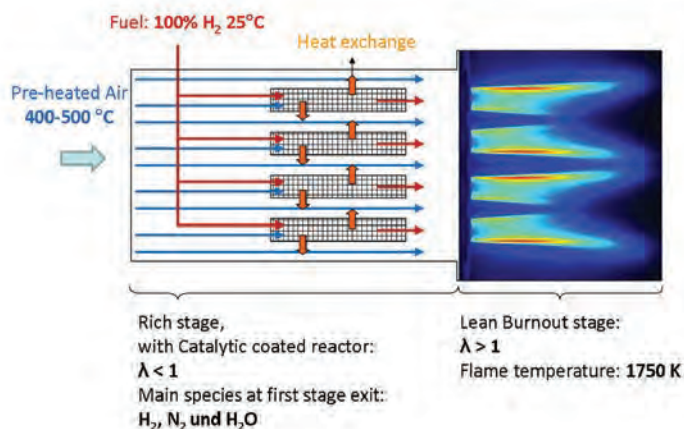
Zusammenfassend ergaben sich folgende Erkenntnisse aus den Modellrechnungen: Je nach gewähltem Erfolgsparameter, welchem höchste Bedeutung zugemessen wird, stellen unterschiedliche Verfahrenskonzepte die «optimale» Prozessvariante dar. Jeweils verglichen mit einem konventionellen Gas- und Dampf-Kraftwerk als Referenzgrösse, ergeben sich die geringsten Wirkungsgradverluste (ca. 6 %-Punkte) für die Stromerzeugung bei einer Kraftwerksvariante mit CO_2 -Abscheidung vor der Verbrennung; dagegen sind die zusätzlichen Stromgestehungskosten (ca. 25 %) am geringsten bei einer Kraftwerksvariante mit CO_2 -Abscheidung nach der Verbrennung (CO_2 -Wäsche aus dem Abgasstrom). Mit (CO_2 -neutraler) Biomasse als Brennstoff können verständlicherweise die besten (negativen) CO_2 -Bilanzen erzielt werden (der Atmosphäre wird effektiv CO_2 entzogen).

Sichere und emissionsarme Verbrennung von H_2 -reichen Brenngasen

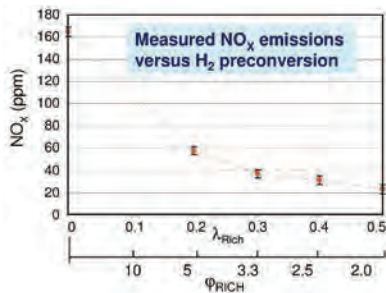
Da bei den Verfahrensvarianten, die eine Brennstoffaufbereitung und Koh-



Figur 1: Stromgestehungskosten und elektrische Wirkungsgrade für ausgewählte, optimale Verfahrenskombinationen (Farbskala: CO_2 -Abscheidegrad; Kostenbasis: 9,7 \$/GJ (Brennstoffkosten), 35 \$/t CO_2 (CO_2 -Steuer), 7500 h/y (Betriebsstunden), 25 y (Abschreibungsdauer), 6 % (Zinssatz)).



Figur 2: Gestuftes Verbrennungskonzept für H_2 -reiche Brenngase (1. Stufe: Luftmangel-Bedingungen, katalytisch unterstützt; 2. Stufe: Luftüberschuss für vollständigen Ausbrand).



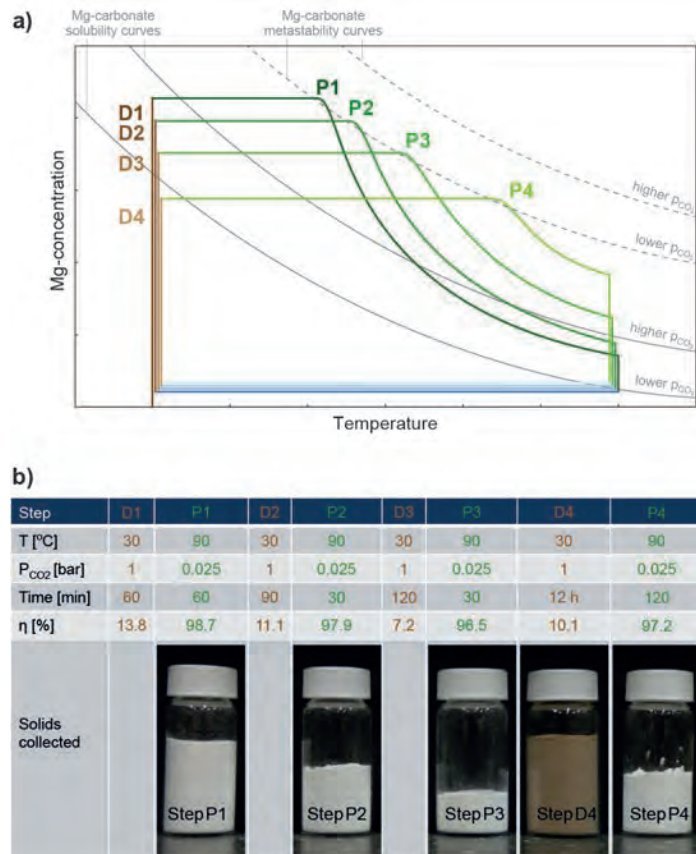
Figur 3: NO_x -Emissionen in Abhängigkeit des Brenngas-Umsatzes in der (1.) katalytisch unterstützten Reaktionsstufe.

lenstoff-Abscheidung vor dem Verbrennungsprozess vorsehen, im eigentlichen Kraftwerksprozess wasserstoffreiche Brenngase beherrscht werden müssen, ergeben sich bei diesen Prozessvarianten zusätzliche verbrennungstechnische Herausforderungen. Insbesondere die hohe Reaktionsfreudigkeit H_2 -reicher Brenngase (hohe Brenngeschwindigkeit, leichte Entzündbarkeit) stellt konventionelle, emissionsarme Brennertechnologien, bei denen vorgemischte Brenngas/Luft-Gemische verwendet werden, vor nahezu unüberwindbare Probleme. Eine Stabilisierung der H_2 -Flamme im bzw. nahe des Brenners (als Flammenrückschlag bezeichnet) führt häufig zu einer Zerstörung von Brennerbauteilen durch Überhitzung. Darüber hinaus kann mit H_2 -reichem Brenngas in vielen Fällen auch keine ausreichend gute Vormischqualität mit der Verbrennungsluft erzielt werden, sodass die Bildung von unerwünschten Stickstoffoxiden (NO_x) nicht effektiv unterdrückt werden kann.

Ebenfalls im Projekt CARMA wurde deshalb ein alternatives Verbrennungskonzept im Labormassstab experimentell untersucht (Fig. 2), welches sowohl die Überhitzung von Brennerkomponenten durch Flammenrückschlag ausschliesst,

als auch unerwünscht hohe NO_x -Emissionen vermieden. Das verwendete gestufte Verbrennungskonzept beruht auf einem katalytisch unterstützten ersten Reaktionsschritt, in dem das H_2 -reiche Brenngas unter Luftmangel zuerst nur teilweise umgesetzt wird (vorzugsweise ohne eine sichtbare Flammenzone) und erst in einer zweiten Verbrennungstufe nach zusätzlicher Lufteinmischung vollständig abreagiert. Durch die erste, durch den Luftmangel nur teilweise möglichen Freisetzung der im Brenngas enthaltenen Energie, können sowohl

Überhitzungseffekte umgangen werden, als auch die extrem hohe Reaktionsgeschwindigkeit der H_2 -Umsetzung abgemildert werden. In der zweiten Reaktionsstufe muss damit ein «nur» noch mässig reaktives Brenngas/Luft-Gemisch beherrscht werden, welches auch nicht mehr zu exzessiver NO_x -Bildung neigt (Fig. 3). Die NO_x -Emissionen aus der ersten Reaktionsstufe sind zudem nahezu NO_x -frei, da die Brenngas-Umsetzung an den katalytisch aktiven Oberflächen dieser Stufe keine NO_x -Bildung mit sich bringt.



Figur 4: Mehrstufiges Verfahrenskonzept zur CO_2 -Mineralisierung: a) Temperatur- und CO_2 -Partialdruck-Verlauf in den vier Verfahrenszyklen; b) Umsatzgrade, Produktmengen und -Beschaffenheit.

Pilot- und Demonstrationsprojekte

Abscheidung und Lagerung von CO_2 durch CO_2 -Mineralisierung

Die bekannten Verfahren zur CO_2 -Abscheidung aus Kraftwerksprozes-

sen beruhen in der Regel auf flüssigen Waschmitteln, die mit dem CO_2 aus der Gasphase (z. B. CO_2 -haltiges Abgas) reagieren und es in die Flüssigphase einbinden. Das damit verbrauchte Waschmittel muss anschliessend mit viel

Energieaufwand (Aufheizen mit Hilfe von Dampf) wieder regeneriert werden, um es wieder im CO_2 -Abscheidungsprozess einsetzen zu können. Bevor das bei der Waschmittel-Regeneration wieder freigesetzte CO_2 -Gas im Untergrund ver-

sorgt werden kann, muss es i. d. R. noch konditioniert (getrocknet) und auf einen hohen Druck (>80 bar) gebracht werden. Um all diese aufwendigen, energieintensiven Prozessschritte umgehen zu können, wird intensiv nach alternativen CO₂-Abscheideverfahren geforscht. Eine dieser Alternativen wurde auch im Projekt CARMA verfolgt – die direkte Überführung des CO₂ im Kraftwerksabgas in eine mineralische Karbonat-Verbindung (Feststoff). Mineralische Karbonate (vorwiegend Verbindungen auf Basis von Magnesium (Mg) und Kalzium (Ca)) sind natürlich vorkommende Gesteinsformen (in Kombination mit Silikaten), die che-

misch sehr stabil sind und dementsprechend gebundenes CO₂ sehr zuverlässig über lange Zeiträume aus der Atmosphäre entfernt halten.

Ziel der Untersuchungen im Projekt CARMA war es, die CO₂-Mineralisierung unter den für Kraftwerksprozesse technisch relevanten Bedingungen in Laborversuchen nachzubilden und Optimierungspotenzial aufzuzeigen. Die bisher erzielten Ergebnisse zeigten, dass bei einer 1-stufigen Verfahrensführung das eingesetzte Material (z. B. Serpentine, Mg-Fe-Si-O-H-Verbindung) nur unzureichend ausgenutzt wird (max. bis zu 20 %), selbst bei zusätzlichem mechani-

chem Aufschluss, pH- und Temperatur-Variation. Ein vielversprechender Ansatz scheint dagegen ein mehrstufiges Verfahrenskonzept zu sein (Fig. 4), welches auf einem zyklischen Druck- und Temperaturverlauf beruht und sequentiell die beiden massgeblichen Reaktionsschritte (Lösung der aktiven Mineralbestandteile aus dem Ursprungsgestein, Bildung und Ausfällung von Karbonaten, steuert.

Nationale Zusammenarbeit

Die Programmziele sind anwendungs- und umsetzungsorientiert ausgerichtet [1, 2], woraus sich eine starke Integration und Beteiligung der im angesprochenen Kraftwerksbereich tätigen Herstellerfirmen und Zulieferbetriebe ergibt. Ein zentrales Element stellen dabei die Hersteller von Turbomaschinen und Kraftwerksanlagen dar (Alstom, MAN Turbo, Turbomach), die mit ihren in der Schweiz angesiedelten Entwicklungs- und Produktionszentren den Garant für die Umsetzung der Programmergebnisse bieten und zusammen mit den in der Schweiz angesiedelten Zulieferfirmen (u.a. Sulzer, Precicast, Stellba, von Roll) sicherstellen, dass die Programmaufwendungen vorwiegend in der Schweiz wirksam werden. Daneben wird auch eine aktive Beteiligung der Strom- und der Gaswirtschaft in der Schweiz (Swisselctric, VSG) angestrebt, die als Anwender bzw. Versorger ebenfalls einen wesentlichen Nutzen aus der zu entwickelnden fortschrittlichen Technik ziehen sollen. Die äusserst anspruchsvollen technischen Ziele sind nur mit einem verbesserten Verständnis der technischen Zusammenhänge und auf einer erweiterten Basis von Grundlagenkenntnissen erreichbar. Diesen Beitrag zum Programmerfolg liefern die akademischen Institutionen der Schweizer Hochschul- und Forschungslandschaft (ETHZ, EPFL, Empa, PSI, FHNW, HSR, ZHW). Sie werden dabei auch ihrem Anspruch gerecht, neueste technische Erkenntnisse schnell in marktgerechte Produkte umsetzen zu helfen. Durch die hohe technische Kompetenz der im ETH-Bereich angesiedelten Forschungsinstitute – zusammen mit praxisnaher Unterstützung aus den Fachhochschulen – sind die Voraussetzungen, einen signifikanten Beitrag zum Programmerfolg beizutragen, in nahezu idealer Weise gegeben.

Enge Verbindungen werden zum *Competence Center Energy & Mobility (CCEM-CH)* [3] des ETH-Bereichs unterhalten.

Im Themenbereich Elektrizität im CCEM-CH besteht eine weitgehende Übereinstimmung der Zielsetzungen mit der Ausrichtung des Programms Kraftwerk 2020. Besonders hervorzuheben ist hier wiederum das Verbund-Projekt *Carbon dioxide management in Swiss power generation (CARMA)*, welches im CCEM-CH eingebunden ist und eine signifikante finanzielle Förderung aus ETH-Bereichsmitteln erhält. Das Projekt CARMA, welches einen breiten Bereich von Fragestellungen im Bereich der CO₂-Problematik abdeckt (Gesamtsystemanalysen, Pre-Combustion Decarbonization, CO₂-Abscheidungstechniken, CO₂-Sequestrierung, sozio-ökonomische Fragen/gesellschaftliche Akzeptanz), und Antworten und Lösungen für die Schweiz sucht, aber auch Resultate von internationaler Bedeutung bereitstellt, ist mit finanziellen Mitteln aus der Forschungsförderungsorganisation von Swisselctric Research ausgestattet. Es ist gewünscht und beabsichtigt, diese Verbindungen weiter auszubauen und damit das Programm Kraftwerk 2020 breit in der Förderlandschaft der Schweiz abzustützen.

Das nationale Netzwerk des Programms Kraftwerk 2020 wird regelmässig in einer Jahresveranstaltung gepflegt (nächster Termin: Juli 2013), bei der ein Überblick über den Stand der Programmaktivitäten geboten wird und die Gelegenheit besteht, sich über die Zielsetzungen und Rahmenbedingungen des Programms im Detail zu informieren und mit potenziellen Projektpartnern in Kontakt zu kommen. Bei der Veranstaltung im Jahr 2012 stand der Themenbereich «hoher elektrischer Wirkungsgrad (>60 %)» im Vordergrund; im Jahr 2013 sollen für das Thema «Netzunterstützung/flexible Betriebsweise», der Entwicklungsstand der massgeblichen Technologien und ihre zukünftigen Perspektiven und Potenziale aufgezeigt werden.

Internationale Zusammenarbeit

Weltweit werden weiterhin grosse Anstrengungen unternommen, um den Wirkungsgrad von gasbefeuerten Kombi-Kraftwerken zu verbessern, und um auf Systemebene die CO₂-Emissionen zu senken resp. durch Abscheiden und Lagern ganz zu vermeiden. Deshalb existieren in vielen Ländern (Deutschland, England, Norwegen, USA, Australien, Japan) und Regionen (z. B. Forschungsinitiative «Kraftwerke des 21. Jahrhunderts» [4] der Länder Bayern und Baden-Württemberg) ähnliche (inter-)nationale/regionale Programme wie das Programm Kraftwerk 2020, mit deren Ausrichtung und aktuellem Fortschritt ein regelmässiger Abgleich stattfindet. Gemeinsame Projekte sind aufgrund nationaler Finanzierungsregeln und komplizierter Konstellationen bezüglich Eigentumsrechten an Projektergebnissen bisher jedoch nicht konkret in Betracht gezogen worden.

Die europäische Integration wird durch die Einbettung von Projekten aus dem Forschungsprogramm Kraftwerk 2020 im derzeit noch laufenden 7. Forschungsrahmenprogramm (FP7) der EU verfolgt. Die bisherige Erfahrung mit bereits erfolgten FP7-Projektausschreibungen zeigt, dass i.d.R. nur grosse Projektkonsortien (10–20 Partner) mit Projektanträgen erfolgreich sind. Daher ist es für Schweizer Partner essentiell, ein gut funktionierendes, weit gespanntes europäisches Netzwerk aufzubauen, um damit die Chance zu haben, schon im Frühstadium der Projektentwicklung miteinbezogen zu werden. Dies ist im Rahmen des European Turbine Network (ETN) [5] durch aktive Beteiligung an einem erfolgreichen Projektantrag (H2-IGCC) gelungen. Die Zielsetzung des Projektes (Gesamt-Budget: 17,8 M€, Laufzeit 2009–2013), an dem das Labor für Verbrennungsforschung des Paul Scherrer Instituts (PSI) einen wesentlichen Anteil hat, ist es, wichtige Technologien und Komponenten eines «Null-Emissions»-Kraftwerks auf Basis eines integrierten Vergasungs-Kombikraftwerks (Integrated Gasification Combined Cycle, IGCC) mit CO₂-Abscheidung zu demonstrieren.

Durch die Beobachtung und aktive Teilnahme am Arbeitsprozess der EU Technology Platform «Zero Emission Fossil Fuel Power Plants» [6] erfolgt sowohl eine regelmässige Abstimmung der Aktivitäten mit anderen nationalen Programmen (der Programm- bzw. der Bereichsleiter haben Einsitz in der begleitenden Länderarbeitsgruppe (Government Group)), als auch die Möglichkeit der Mitgestaltung von gemeinsamen Entwicklungszielen und EU-Arbeitsprogrammen (der Programmleiter ist Mitglied der Arbeitsgruppe Taskforce Technology). Diese Aktivitäten sind unabdingbar, um die Entwicklungen im europäischen Umfeld frühzeitig zu erkennen, und Chancen für die Schweiz und Schweizer Partner identifizieren und ausschöpfen zu können. Da eine Realisierung von neuen Kraftwerkskonzepten im Pilot- und Demonstrations-Massstab erheblicher Finanzierungsmittel bedarf, sind solche Entwicklungsschritte nur auf internationaler/europäischer Ebene denkbar (dies kann auch im Rahmen bi- oder multi-lateraler Zusammenarbeit zweier oder mehrerer Länder erfolgen).

In einer weiteren europäischen Initiative (ECCSEL: European Carbon Dioxide Capture and Storage Laboratory Infrastructure), die sich speziell auf die Entwicklung und gemeinsame Nutzung von Forschungsinfrastruktur für CO₂-arme Kraftwerks- und Industrieprozesse konzentriert, sind akademische Partner des Programms Kraftwerk 2020 ebenfalls aktiv.

Über Kontakte zu themenrelevanten Initiativen der Internationalen Energieagentur (IEA) [7] wie der Working Party for Fossil Fuels (WPFF), des Implementing Agreement for Energy Conservation and Emission Reduction in Combustion, des Greenhouse Gas R&D Programme sowie des Carbon Sequestration Leadership Forum (CSLF) wird die internationale Vernetzung der Programmaktivitäten noch weiter verstärkt und damit Möglichkeiten eröffnet, durch gemeinsame Aktionen Projekte zu verwirklichen, die eine wesentlich grössere (internationale) Breitenwirkung entfalten und für die Schweiz allein sonst grundsätzlich gar nicht zu realisieren wären.

Referenzen

[1] Konzept für das Forschungsprogramm «Kraftwerk 2020», BFE, Bundesamt für Energie BFE –Forschungsprogramm Kraftwerk 2020.

[2] Forschungsprogramm «Kraftwerk 2020»: Ergänzung und Aktualisierung des Programmkonzepts für den Zeitraum 2008–2011, Bundesamt für Energie BFE –Forschungsprogramm Kraftwerk 2020

[3] Competence Center Energy and Mobility (CCEM-CH)

[4] Forschungsinitiative «Kraftwerke des 21. Jahrhunderts»

[5] European Turbine Network (ETN), www.eu-gasturbine.org/

[6] Technology Platform «Zero Emission Fossil Fuel Power Plants», www.zero-emissionplatform.eu/website/

[7] Internationalen Energie Agentur (IEA), www.iea.org

Laufende und im Berichtsjahr abgeschlossene Projekte

(* IEA-Klassifikation)

- **CARMA – CARBON DIOXIDE MANAGEMENT IN POWER GENERATION**
R&D 2.3*

Lead:	ETH Zürich	Funding:	BFE
Contact:	Mazzotti Marco marco.mazzotti@ipe.mavt.ethz.ch	Period:	2009–2012

Abstract: Das CARMA-Projekt befasst sich mit der Abscheidung und Einlagerung von Kohlendioxid (Carbon Capture and Storage). Neben Gesamt-Systemanalysen und techno-ökonomischen Bewertungen unter länderspezifischen Bedingungen sowie Akzeptanzstudien zur Einführung von CCS, werden auch eine Vielzahl von technisch-wissenschaftliche Fragestellungen bearbeitet (Abscheidung von CO₂ in Kraftwerksprozessen, Einbindung von CO₂ in geologischen Formationen, Ausweisung und Betrieb von CO₂-Lagerstätten, etc.).

- **WANDINTEGRIERTE KÜHLUNGSSYSTEME: PRALLKÜHLUNG MIT KOMPLEXEN GEOMETRIEN**
R&D 2.3

Lead:	EPFL/STI/ISE/LTT	Funding:	BFE
Contact:	Ott Peter peter.ott@epfl.ch	Period:	2009–2013

Abstract: Im Projekt werden neuartige Kühlungsgeometrien für Gasturbinen-Schaufeln entwickelt und untersucht. Die innovativen Designs sollen bereits im Giess-Prozess der Schaufelherstellung mit integriert werden und den Kühlluftbedarf signifikant reduzieren und damit den Wirkungsgrad der Turbinen deutlich steigern.

- **COOLING OF NEXT GENERATION TURBOGENERATORS**
R&D 2.3

Lead:	ALSTOM Schweiz Ltd.	Funding:	BFE
Contact:	Diestel-Feddersen Lennart lennart.diestel-feddersen@power.alstom.com	Period:	2009–2013

Abstract: Turbogeneratoren, Synchronmaschinen die im 50/60Hz-Netz und mit 3000/3600 U/min rotieren, können mit H₂ oder mit Luft gekühlt werden. Luft ist auf Grund der einfachen Handhabung bevorzugt, erzeugt jedoch grössere interne Ventilationsverluste. Durch optimierte Kühlluft-Führung innerhalb der rotierenden und statischen Bauteile eines Generators sollen diese aerodynamischen Verluste reduziert werden bzw. durch Vergleichsmässigung der lokalen Kühlwirkung «hot spots» vermieden werden.

- **ENTWICKLUNG VON INTEGRIERTEN MOTORVERDICHTERN FÜR DIE ERZEUGUNG VON BRENNGAS AUS BIOMASSE, TEIL 2**
R&D 2.3

Lead:	MAN Turbo AG	Funding:	BFE
Contact:	Laufer Uwe uwe.lauber@man.eu	Period:	2009–2013

Abstract: Integrierte Motor-Verdichter sind direkt mechanisch gekoppelt und hermetisch dicht, weswegen sie besonders vorteilhaft bei gesundheits-gefährlichen Gasen zum Einsatz kommen. Die integrale Bauweise erfordert allerdings ölfreie (Magnet-)Lager und eine auf Prozessgas abgestimmte Motorkühlung. Beide Aspekte werden in diesem Projekt für die Anwendung auf Produktgas aus (Biomasse-) Vergasungsprozessen untersucht.

- **BOOSTERCAP – DYNAMIC EXCITATION MODULE**
R&D 2.3

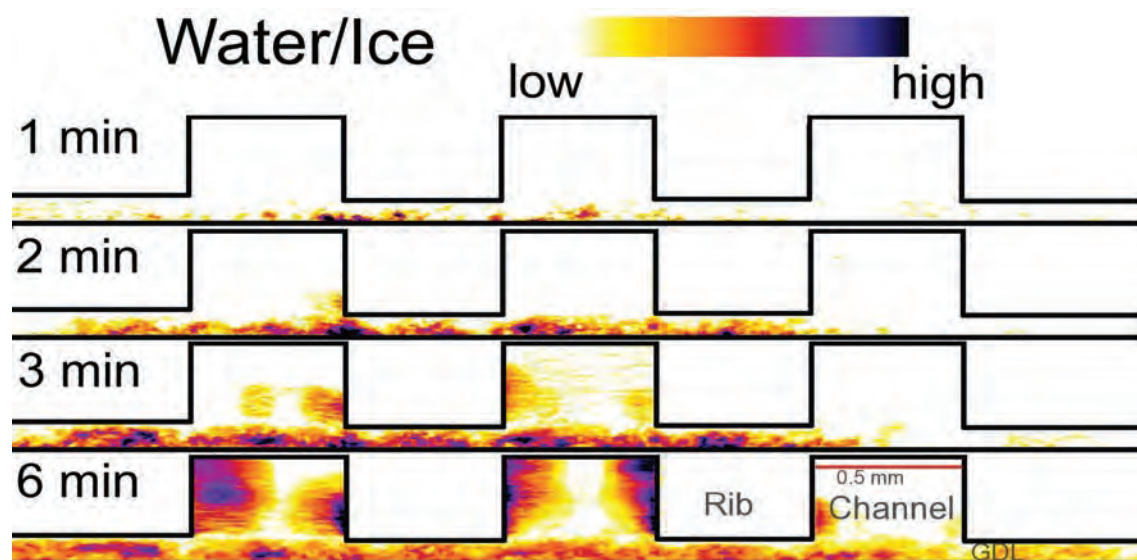
Lead:	ALSTOM Schweiz Ltd.	Funding:	BFE
Contact:	Menzel Johannes johannes.menzel@power.alstom.com	Period:	2011–2012

Abstract: Generatoren mit konventioneller Technik müssen bisher bei Spannungsschwankungen (bzw. Frequenzschwankungen) vom Netz getrennt werden, und verschärfen damit die Problematik. Durch die im Projekt untersuchte Einbindung von Kurzzeitspeichertechnologien (Hochleistungskondensatoren) und Leistungshalbleiter-Schaltelementen sollen längere bzw. tiefere Spannungs-/Frequenz-Einbrüche ohne Trennung vom Netz möglich werden und damit zur Stabilisierung der Situation beitragen.



Stefan Oberholzer

Brennstoffzellen



In-situ-Abbildung der Eisbildung beim Start-up einer Brennstoffzelle

Das Unternehmen Belenos Clean Power entwickelt in Zusammenarbeit mit dem Paul Scherrer Institut Polymer-Elektrolyt-Brennstoffzellen-Systeme für Personenfahrzeuge, welche mit Wasserstoff (H_2) und reinem Sauerstoff (O_2) betrieben werden. Dabei wird in einem Teilprojekt das Startverhalten der Brennstoffzelle bei Temperaturen unterhalb des Gefrierpunkts untersucht, was für H_2/O_2 -Systeme kaum erforscht ist. Die lokale Eisbildung in den Kanälen der Gaszufuhr und der Gas-Diffusionsschicht (GDL) wird mit verschiedenen experimentellen Methoden untersucht. Die Abbildung zeigt Röntgentomographie-Aufnahmen (Querschnitt durch die Kathode) einer auf -10 °C vorgekühlten Polymer-Elektrolyt-Brennstoffzelle während des Starts. Nach 6 min fällt die Stromdichte der Brennstoffzelle abrupt ab und die Zelle schaltet ab, da auf Grund der Wasser-/Eisbildung der Gasdurchtritt durch die GDL verhindert ist (Quelle: BFE-Projekt «S_Chain Fundamentals»).

Einleitung

Brennstoffzellen als effiziente Energiesysteme, welche die in chemischen Energieträgern gespeicherte Energie in elektrische Energie und Wärme umwandeln, können einen wichtigen Beitrag leisten in einem künftigen Energieszenario mit deutlich geringeren CO₂-Emissionen. Der Anwendungsbereich reicht dabei von der stationären Elektrizitätsbereitstellung über Anwendungen in der elektrischen Mobilität bis hin zu speziellen Märkten wie die Energieversorgung portabler elektrischer Geräte.

In einer Brennstoffzelle wird ein gasförmiger Brennstoff (Wasserstoff oder Kohlenwasserstoffe) und ein Oxidationsmittel (Sauerstoff oder Luft) kontinuierlich zugeführt. Im Unterschied zu Batterien liefert eine Brennstoffzelle elektrische Energie, solange diese externe Gasversorgung aufrecht erhalten bleibt. Die bei der Verbrennung stattfindenden Reduktions- und Oxidationsprozesse sind in einer Brennstoffzelle räumlich getrennt, so dass der Wirkungsgrad bei der Umwandlung von chemischer Energie zu Elektrizität bis zu 88 % betragen kann. Die geringen Schadstoffemissionen auf Grund der Tatsache, dass der Brennstoff und das Oxidationsmittel nicht direkt in Kontakt sind, bilden ein weiteres wichtiges Merkmal dieser Technologie. Als vorteilhaft können ausserdem die geringe Lärmemission, die Abwesenheit beweglicher Bauteile, das gute Teillastverhalten, eine modulare Bauweise, welche Brennstoffzellensysteme in verschiedenen Leistungskategorien ermöglicht, sowie die kombinierte Bereitstellung elektrischer Energie und Wärme angesehen werden.

Im vergangenen Jahr war eine starke Zunahme des Brennstoffzellenmarkts um rund 60 % gegenüber den Vorjahren

zu verzeichnen. Beigetragen haben hier insbesondere ein Zuwachs im Bereich der Molten Carbonate Brennstoffzellen (MCFC), welche als stationäre Anlagen zur Strom- und Wärmeproduktion eingesetzt werden. Wichtigste Märkte sind hier Südkorea und Nordamerika. So wurde beispielsweise in Südkorea eine 11,2-MW-MCFC-Anlage (Posco Fuel Cell Park) in Betrieb genommen. Die Firma FuelCell Energy, welche MCFC-Anlagen herstellt, rechnet mit einem weiteren starken Marktzuwachs 2013.

Im Bereich der Mikro-Wärme-Kraft-Kopplung (μ CHP) kann der Ersatz von Boilersystemen durch entsprechende Brennstoffzellen mit Gesamtwirkungsgraden von mehr als 95 % (bis 60 % elektrisch und 35 % thermisch) einen wesentlichen Beitrag zur Effizienzsteigerung leisten. Dank einer dezentralen Stromproduktion kann damit der Aufbau von «Smart-Grids» unterstützt werden. Grosse Förderpromesse laufen hierzu insbesondere in Deutschland – bis 2020 sollen dort micro-CHP-Systeme 140 TWh Strom liefern, was einem Marktpotenzial von 3,5 Millionen Systemen entspricht – und in Japan, wo eine dezentrale Stromversorgung einen besonders grossen Beitrag zur Versorgungssicherheit leisten kann. In Europa wurde im September 2012 das Demoprojekt ENE.FIELD lanciert, welches die Inbetriebnahme weiterer 1'000 mikro-CHP-Brennstoffzellensysteme vorsieht. Unter den 27 Partnern nehmen auch die Schweizer Firmen Hexis AG und HTceramix (SOFCPower) teil. Erstere kündigte den Markteintritt für die Heizperiode 2013/2014 an.

Für die Mobilitätsanwendung sind insbesondere die Polymer-Elektrolyt-Brennstoffzellen (PEFC) von Bedeutung. Hier

konnten dank intensiver Forschungs- und Entwicklungsarbeit auch 2012 die Kosten weiter reduziert werden. Gemäss einer Studie des U.S. Departement of Energy (DoE) [1] liegen die modellierten Kosten eines 80-kW-PEFC-Stapels bei \$ 47/kW hochgerechnet auf eine Produktionsrate von 500'000 Einheiten pro Jahr. Gegenüber 2008 entspricht dies einer Reduktion von 30 %, gegenüber 2002 gar um 80 %. Ein hoher Anteil (rund 40 %) der Kosten geht auf die Verwendung des Edelmetals Platin als Katalysatormaterial zurück, so dass in diesem Themenbereich besonders intensiv geforscht wird, um eine adequate Bilanz zwischen der Menge Platin, der Leistungsfähigkeit und der Lebensdauer einer Brennstoffzelle zu finden. Für die Mobilitätsanwendung wird bis 2020 eine Kostensenkung von 90 % für Brennstoffzellensysteme prognostiziert [2].

Von besonderer Wichtigkeit sind sogenannte «Early-Market»-Anwendungen, bei denen die Brennstoffzellentechnologie bereits heute teilweise konkurrenzfähig sein kann. Ein erfolgreiches Beispiel aus dem Jahr 2012 ist der Einsatz von mit Brennstoffzellen betriebenen Logistikfahrzeugen (Gabelstaplern) in US-Logistikunternehmen. Die staatliche Förderung von 400 solcher Fahrzeuge löste einen weiteren Absatz von über 3'000 Stück aus. Auch in der Schweiz laufen ähnliche Projekte, beispielsweise beim Einsatz von Brennstoffzellen als Backup-Systeme in der Telekommunikation (Projekt *Fitup*) oder zum effizienten und geräuscharmen Antrieb von Kommunalfahrzeugen (Projekt *hy.muve*).

Im vorliegenden Bericht werden die herausragendsten Resultate 2012 aus Forschung, Pilot und Demonstration in diesem Bereich vorgestellt.

IEA Klassifikation: 5.2 Fuel Cells, 6.1 Electric power conversion

Schweizer Klassifikation: 1.7 Brennstoffzellen

Programmschwerpunkte

In der Schweiz befasst sich die Energieforschung seit mehreren Jahrzehnten mit dem Thema Brennstoffzellen. Verschiedene international anerkannte Kompetenzzentren in Forschung und Entwicklung sind an den eidgenössischen Hochschulen, Universitäten und Fachhochschulen angesiedelt. In verschiedenen kleineren und mittleren Unternehmen existieren industrielle Aktivitäten. Die Schweizer Forschung in diesem Bereich ist allgemein in einem hohen Mass in internationale Projekte eingebunden, insbesondere in das Joint Undertaking for Fuel Cells and Hydrogen der Europäischen Kommission.

Das Forschungsprogramm Brennstoffzellen des Bundesamtes für Energie versucht, nationale und internationale Aktivitäten zu koordinieren und die Zusammenarbeit zwischen Universitäten, Fachhochschulen und der Industrie zu fördern. Die hierzu zur Verfügung stehenden Gelder werden subsidiär eingesetzt, zusätzlich zu den übrigen Mitteln der öffentlichen Hand und der Industrie. Die Schwerpunkte des Forschungsprogramms Brennstoffzellen liegen in der materialorientierten Grundlagenforschung, in der Systementwicklung, sowie in der Demonstration und Erprobung in Pilotprojekten [3, 4].

Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzellen: Bei Polymer-Elektrolytmembran-Brennstoffzellen (PEFC) stehen die Re-

duzierung der Kosten, die Robustheit im Betrieb sowie die Verfügbarkeit der Komponenten im Vordergrund. Es bestehen hier neuere und Erfolg versprechende Ansätze mit Wasserstoff-Sauerstoff-Brennstoffzellen. Die Analyse von diversen Degradationsphänomenen werden durch experimentelle Messungen an Teilkomponenten und ganzen Systemen sowie mittels deren theoretischer Modellierung eingehend untersucht. Die Systemintegration von PEM-Brennstoffzellen und die Anwendung in Nischenmärkten bilden weitere Themen.

Feststoffoxid-Brennstoffzellen: Im Bereich der Feststoffoxid-Brennstoffzellen (SOFC) steht die Erhöhung der Lebensdauer für die Anwendung in Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen im Vordergrund. Ähnlich wie im PEM-Brennstoffzellenbereich wird versucht, durch künstliche Alterungsbeschleunigung Degradationsphänomene kostengünstiger und systematischer zu untersuchen. Modellierung und Validierung kommen auch in diesem Bereich eine grosse Bedeutung zu.

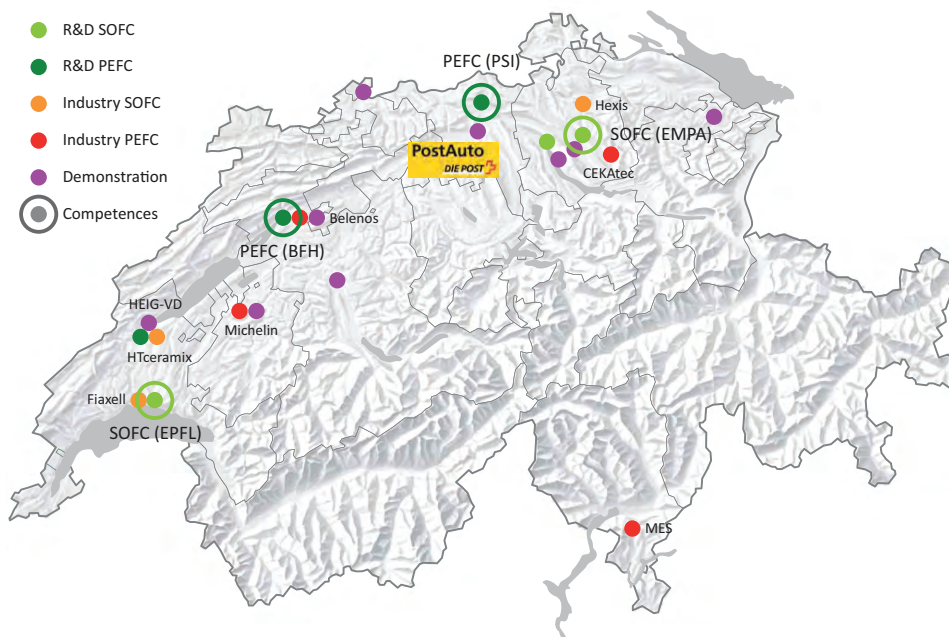
Rückblick und Bewertung 2012

Im Bereich Wasserstoff & Brennstoffzellen liefen im Jahr 2012 90 Forschungs-, Pilot- und Demonstrationsprojekte, welche über verschiedenste Förderstellen unterstützt wurden.

Verschiedene BFE-Forschungsprojekte am Paul Scherrer Institut wurden 2012 erfolgreich abgeschlossen, wobei die Nachfolgeprojekte über andere Kanäle (Europäische Union) weiterfinanziert werden. Im Bereich der Umsetzung wurde das Pilotprojekt zur Integration einer PEFC-Brennstoffzelle in eine Minibar von Elvetino/SBB durch die Firma CEKAtec AG (www.ceka.ch) erfolgreich weitergeführt. Dank einer TÜV-Zertifizierung und weiterer Massnahmen wird voraussichtlich 2013 ein grösserer Feldtest mit diesen Systemen stattfinden, wobei der Entscheid für diese Technologie auf marktwirtschaftlichen Überlegungen beruht.

Ausblick

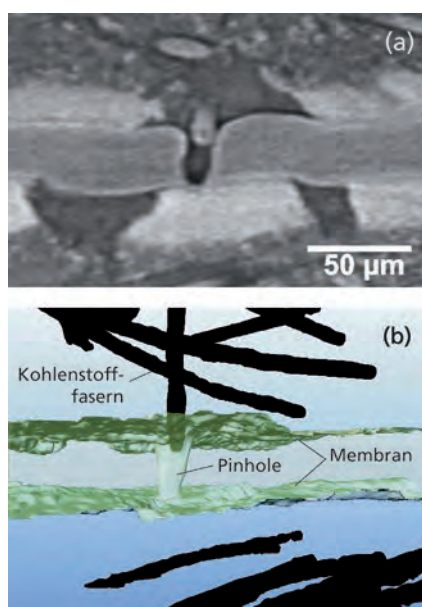
Das Forschungsprogramm versucht weiterhin die Schwerpunktbereiche gezielt zu unterstützen und dadurch ein Maximum an Wirkung zu erzielen. Hierzu findet eine enge Zusammenarbeit mit weiteren Förderstellen statt. Auf Projektebene werden von der Belenos Clean Power Holding AG neue Impulse erwartet bei der Integration und Weiterentwicklung der Brennstoffzellen-Systeme. Ein wichtiges Ereignis wird 2013 das jährlich in Luzern stattfindende European Fuel Cell Forum bilden (www.efcf.com).



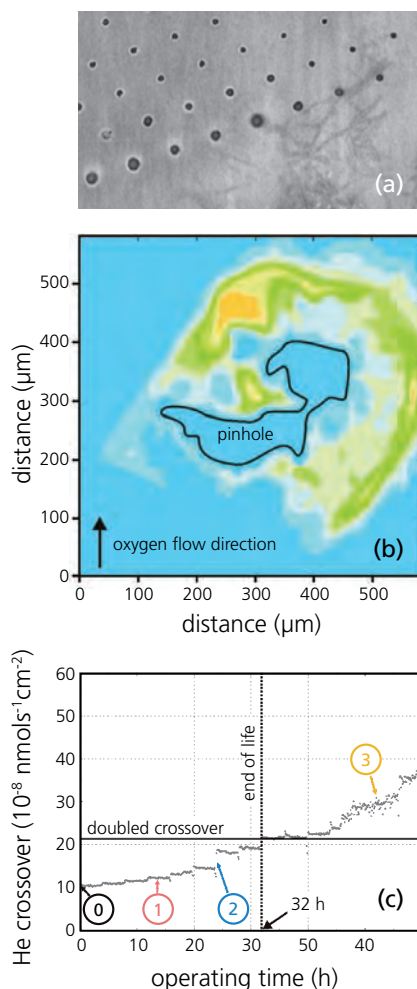
Highlights aus Forschung und Entwicklung

Degrationsanalyse in Polymer-Elektrolyt-Brennstoffzellen

Die Lebensdauer von Polymer-Elektrolyt-Brennstoffzellen (PEFC) stellt neben den Herstellungskosten einer der wichtigsten Faktoren für eine erfolgreiche Markteinführung dieser Technologie dar. In mehrjährigen Projekten am Labor für Elektrochemie am Paul Scherrer Institut (PSI) wurde (1) die Degradation von Polymermembranen, welche Anode und Kathode elektrolytisch leitend miteinander verbinden und die Reaktionsgase Wasserstoff und Sauerstoff voneinander trennen, sowie (2) die Degradation des Katalysator-Trägermaterials untersucht.



Figur 1: (a) Querschnittsaufnahme (Röntgentomographie) durch die Membran-Elektroden-Einheit. (b) Dreidimensionale Rekonstruktion (Visualisierung) eines Membrandefektes in einer Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzelle. Das Ende einer Kohlenstofffaser aus der Gasdiffusionsschicht sticht in die Membran und führt zu einem «Pinhole»-Defekt, welcher durch chemische Zersetzung und mechanische Belastung vergrößert wird, bis schliesslich die Membran durch lokale katalytische Verbrennung von Wasserstoff und Sauerstoff gänzlich versagt (Quelle: PSI).



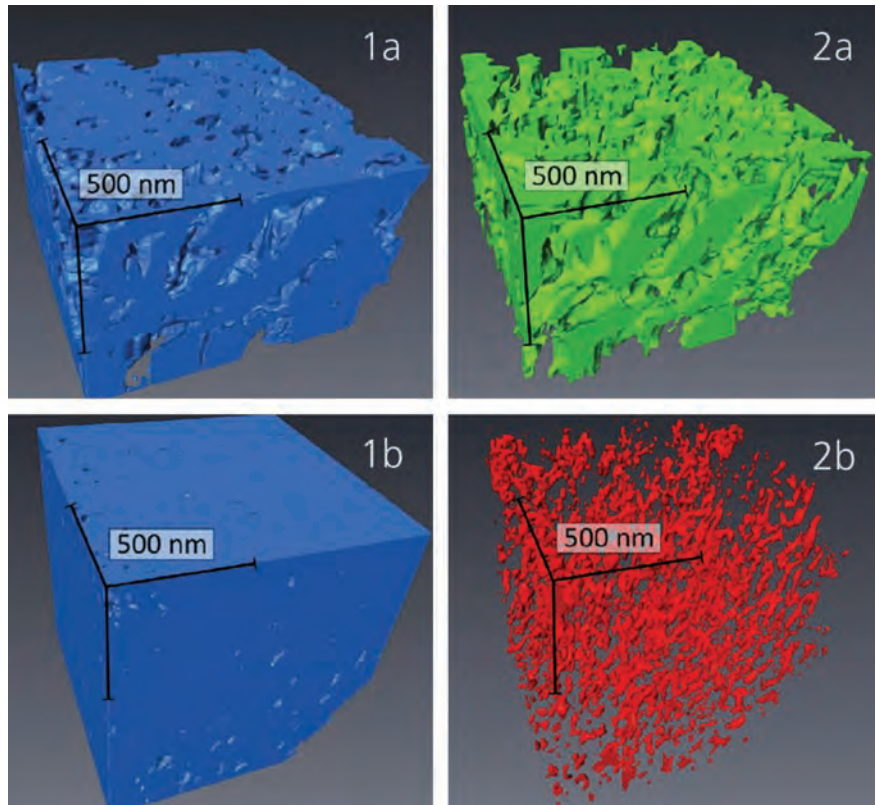
Figur 2: (a) Künstliche Membrandefekte in der Grössenordnung 10 µm, welche durch fokussierte Ionenstrahlen erzeugt wurden. (b) Zwei-dimensionale integrierte Infrarotabsorption einer degradierten Nafion®-111-Membran um einen lokalen Defekt. Die Degradation erfolgte während 25 h beim Betrieb mit Wasserstoff/Sauerstoff bei 80 °C und 150 kPa, wobei die Feuchtigkeit zwischen 0–70% zyklisch variiert wurde. Ein Wasserstoffübertritt wurde durch einen leichten Überdruck von 10 kPa ausgelöst. (c) In-situ gemessener Helium-(Wasserstoff-)übertritt durch eine mit «Pinholes» präparierte Membran. Die Membran wurde durch Leerlaufbetrieb künstlich stark gealtert. Das Lebenszeitende ist erreicht, wenn sich der Helium-Crossover verdoppelt hat. Am Anfang (Phase 1) wird die Membran nur chemisch degradiert. Sobald die Membran genügend geschwächt ist, dass sie der betrieblich bedingten Belastung nicht mehr genügt, bricht sie (Phase 2) und der Gasübertritt nimmt sprunghaft zu. Durch lokale katalytische Verbrennung kann die Temperatur bis 140 °C ansteigen, was zu zusätzlicher thermischer Degradation der Membran führt (Phase 3) (Quelle: PSI).

Schnelle Laständerungen sowie Start-/Stoppvorgänge belasten die Membranen stark und können zur Bildung von Mikrodefekten («Pinholes») in der Membran führen (Figur 1), die einen Gasübertritt zwischen Kathoden- und Anodenseite zulassen. Die starken Feuchtigkeitsänderungen, welche mit den Laständerungen einhergehen, führen zu einem Schwellen und Schrumpfen der Membran.

Experimentell wurde der Gasübertritt in-situ an mit künstlichen «Pinholes» präparierten Brennstoffzellen untersucht. Dazu wurde auf der Anodenseite dem Wasserstoff 10 vol. % Helium beigemischt, welches lokal aufgelöst auf der Kathodenseite als Spurengas mittels Massenspektrometrie detektiert wurde. Um die Alterung der Membranen künstlich zu beschleunigen wurden die Brennstoffzellen intensiven Lastzyklen unterworfen. Durch Gas-Analyse-Messungen konnte festgestellt werden, dass «Pinholes» von einer Grösse von 10 µm bei einer Druckdifferenz zwischen Anode und Kathode von 10 hPa nur zu einem sehr geringen Gasübertritt von rund 0,02 sccm führen, was etwa 500 mal weniger ist als der als «Lebenszeitende» definierte Wert. Der Übertritt von einzelnen Wasserstoffmolekülen von der Anoden- auf die Kathodenseite kann zur Bildung von reaktiven Radikalen auf der Kathodenseite führen, welche durch das Aufbrechen von Polymerketten die Membran rund um den Defekt schwächen können. Schliesslich wächst die Grösse des Defekts exponentiell an, bis eine katalytische Verbrennung einsetzt, welche zur Zerstörung der Membran führt. Dass dieser Prozess so abläuft, konnte durch die Post-mortem Analyse von Brennstoffzellenmembranen gezeigt werden. Dazu wurden mittels Fouriertransformations-Infrarotspektrometrie (FTIR) zwei-dimensionale Abbildungen der chemischen Zusammensetzung rund um ein «Pinhole» generiert (Figur 2b). Der in-situ gemessene Übertritt von Helium durch eine mit «Pinholes» präparierten Membran während eines künstlich beschleunigten Alterungsprozesses ist in Figur 2c dargestellt.

Neben dem Auftreten von lokalen Membrandefekten stellt die Kohlenstoffkorrosion des Katalysator-tragenden Materials einen der wichtigsten Alterungsprozesse

sen in PEFCs dar. Dabei reagiert Kohlenstoff zusammen mit Wasser zu Kohlenstoffdioxid (CO_2) und elementarem Wasserstoff. Die Kohlenstoffkorrosion wird ausgelöst durch Start-Stopp-Zyklen, da dabei in der Brennstoffzelle auf der Anodenseite eine Wasserstoff/Luft-Front durchläuft, welche zu lokalen Überspannungen führt, welche die Kohlenstoffoxidation auf der Kathodenseite auslöst. In einer im Berichtsjahr abgeschlossenen Doktorarbeit am PSI wurde dieses Phänomen intensiv untersucht [5]. Dazu wurden Start-Stopp-Zyklen durch das Anlegen von Überspannungen simuliert und gleichzeitig der CO_2 -Gehalt in den Abgasen der Brennstoffzelle gemessen. Dabei hat sich gezeigt, dass die durch Kohlenstoffkorrosion verursachte Degradation (Verlust an aktiver Katalysatoroberfläche, geringere Porosität) sehr stark durch die externe Last beeinflusst wird und zudem starke Temperatur- und Feuchtigkeitsabhängigkeit zeigt. Dieses grundlegende Verständnis dient dazu, Betriebsstrategien zu entwickeln, welche die Lebensdauer einer Brennstoffzelle wesentlich verlängern können.



Figur 3: Dreidimensionale Struktur der ursprünglichen Katalysatorschicht (1a) in einer Polymer-Elektrolytmembran-Brennstoffzelle und nach 1'000 Start-Stopp-Zyklen. Die aktive Fläche ist stark reduziert. (2a) Ursprüngliche Porenstruktur mit einer Porosität von 40 % und (2b) Porenstruktur nach 1'000 Start-Stopp-Zyklen mit vielen isolierten Hohlräumen, die nicht zum Gastransport beitragen (Quelle: [5]).

Unterbrechungsfreie Stromversorgung mit Brennstoffzellen

«Early-market»-Anwendungen wie Notstromaggregate (USV) sind von zentraler Bedeutung für eine erfolgreiche Markteinführung der Brennstoffzellentechnologie. Dabei sind Brennstoffzellen-USV-Anlagen insbesondere im Bereich mittlerer Autonomiezeiten von 3 bis 24h herkömmlichen Batterie- oder Generator-Systemen überlegen. In einem grossen EU-Demonstrationsprojekt im Rahmen des Joint Undertaking for Fuel Cells and Hydrogen wurden 2012 insgesamt 19 Brennstoffzellensysteme für USV-Anlagen in Betrieb genommen, dies an verschiedenen Standorten in Italien, Holland, der Türkei und der Schweiz. In der Schweiz werden diese Anlagen von Swisscom, den Kantonspolizeien Nidwalden, Luzern und Bern (separates BFE-Projekt) betrieben. Neben der Demonstration sollen als technische Ziele eine Verfügbarkeit von mehr als 95 %, mindestens 1'500 Betriebsstunden und



Figur 4: Während des Weltwirtschaftsforums 2012 wurde eine Mobilfunkantenne von Swisscom mit einem Brennstoffzellen-USV-System der FutureE Fuel Cell Solutions GmbH gegen Stromausfälle abgesichert.

1'000 Zyklen erreicht werden. Weitere Anwendungsgebiete sind USV-Anlagen für Rechenzentren. Hierzu laufen auf nationaler Ebene weitere Abklärungen.

Nationale Zusammenarbeit

Die nationale Zusammenarbeit zwischen Projektnehmern wurde auch im Berichtsjahr weiter gepflegt. In vom BFE unterstützten Projekten bestehen verschiedene Arbeitsnetzwerke.

Auf Programmebene konnte die Zusammenarbeit mit verschiedenen Förderungsinstitutionen weiter ausgebaut werden, dies insbesondere mit Swisselectric Research, dem Competence Center Energy and Mobility (CCEM) und der Kommission für Technologie und Innovation (KTI). Daneben besteht auch eine gemeinsame Förderung von BFE und der Firma BELENOS bei der Weiterentwicklung von Wasserstoff/Sauerstoff-Brennstoffzellen.

Die direkte Förderung durch das BFE hat im Bereich Brennstoffzellen nach wie vor eine grosse Bedeutung als Grundfinanzierung und Know-how-Sicherung an den entsprechenden Kompetenzzentren.

Die meisten Schweizer Akteure im Bereich PEM-Brennstoffzellentechnologie – aus der Forschung und der Industrie – sind in der nationalen Wasserstoffvereinigung Hydropole (www.hydropole.ch) organisiert.

Im Bereich der Umsetzung erhielt die Eröffnung der ersten Wasserstoff-Tankstelle im Zusammenhang mit dem Brennstoffzellen-Bus-Projekt bei PostAuto AG eine hohe mediale Aufmerksamkeit. Ebenfalls von hohem nationalen Interesse ist weiterhin das Projekt Hy.muve der Empa.

Internationale Zusammenarbeit

Das Brennstoffzellenprogramm (AFC) der Internationalen Energieagentur (IEA, www.ieafuelcell.com) bildet eine Hauptplattform der internationalen, vorkommerziellen Forschungszusammenarbeit, an welchem sich die Schweiz beteiligt. Insbesondere wird der Subtask 1 Market Outlook, welcher sich zum Ziel setzt, im Bereich stationäre Anwendungen wichtige Märkte, länderspezifische Bedürfnisse betreffend Produkt- und Sevedesign sowie Kostenstrukturen und Business-Konzepte zu analysieren, vom Schweizer Taskmitglied geleitet.

Verschiedenste Brennstoffzellenprojekte werden durch die EU-Forschungsrahmenprogramme unterstützt. In dem 2010 lancierten Call des seit 2008 laufenden Programms Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU) konnten sich verschiedenste Schweizer Akteure beteiligen. Hauptthemen sind Grossdemonstrationsprojekte im Mobilitätsbereich inklusive Wasserstofflogistik. In der Industrie-gruppe des FCH JU mit 58 Firmen sind die Schweizer Firmen Hexis und HTceramix (SOFC Power) als Mitglieder dabei. Im European Research Grouping (N.ERGHY, www.nerghy.eu) ist die Schweiz durch die Empa und das PSI vertreten. Über die States Representatives Group wird versucht, die Forschungsprogramme der einzelnen Länder einzubinden.

Referenzen

[1] U.S. Departement of Energy, Fuel Cells and Hydrogen Program (www.hydrogen.energy.gov)

[2] A portfolio of power-trains for Europe: a fact-based analysis, The role of Battery Electric Vehicles, Plug-in Hybrids and Fuel Cell Electric Vehicles, McKinsey & Company (2010) (www.zeroemissionvehicles.eu/)

[3] Bundesamt für Energie, Energieforschungsprogramme Brennstoffzellen und Wasserstoff für die Jahre 2008 bis 2011, Januar 2008 (www.energieforschung.ch).

[4] Bundesamt für Energie, Konzept der Energieforschung des Bundes 2008 bis 2012 (www.energieforschung.ch).

[5] N. Linse, "Start/Stop phenomena in polymer electrolyte fuel cells", Diss. ETH No. 20132, ETH Zürich, 2012.

Laufende und im Berichtsjahr abgeschlossene Projekte

(* IEA-Klassifikation)

- TEMONAS – TECHNOLOGY MONITORING AND ASSESSMENT**

Lead: **European Fuel Cell Forum AG**

Contact: **Michael Spirig** m.spirig@efcf.com

Abstract: The objective of the project is to provide a functional and integrated TMA tool specifically tailored for the needs of research program progress evaluation. TEMONAS will take the various existing technology monitoring and assessment methodologies a step further in providing a transparent system that allows a targeted comparison and evaluation of project results and technology achievements with a high degree of objectivity (www.temonas.eu).

R&D 5.2*

Funding:	EU-FP7
Period:	2011–2013
- ASSENT – ANODE SUB-SYSTEM DEVELOPMENT & OPTIMISATION FOR SOFC SYSTEMS**

Lead: **HTcearmix / Hexis**

Contact: **Olivier Bucheli** olivier.bucheli@htceramix.ch

Abstract: The high temperature fuel cell technologies have potential for high electrical efficiency, 45-60%, and total efficiency up to 95%. SOFC has the added benefit of offering commercial applications from 1 kW residential to several MW stationary units with high fuel flexibility. Whilst much effort is devoted to cell and stack issues, less attention has been paid to the components and sub-systems required for an operational system (<http://assent.vtt.fi/>).

R&D 5.2.1

Funding:	EU-FP7
Period:	2010–2013
- ASTERIX3 – ASSESSMENT OF SOFC CHP SYSTEMS BUILD ON THE TECHNOLOGY OF HTCERAMIX 3**

Lead: **Htcearmix**

Contact: **Olivier Bucheli** olivier.bucheli@htceramix.ch

Abstract: The main objectives of this project are: Improving lifetime, reliability and robustness of the overall system; Improve component quality; Increase robustness and tolerance to thermal cycling; Develop and integrate fully automated control of the system; Reduce cost and volume of the system; Increase thermal and electrical efficiency. Achieving these objectives will enable us to demonstrate a residential CHP concept fulfilling market requirements (<http://asterix3.eu/>).

R&D 5.2.1

Funding:	EU-FP7
Period:	2011–2012
- DESIGN – DEGRADATION SIGNATURES IDENTIFICATION FOR STACK OPERATION DIAGNOSTICS**

Lead: **EPFL**

Contact: **Jan van Herle** jan.vanherle@epfl.ch

Abstract: The project proposes to study the influence of slowly-damaging conditions on measures performed on the stack sub-components: the Cells and the Single Repeating Units (SRU) and on small stacks. Identification of characteristic signatures of these degradation phenomena at the lower level will be subsequently transposed at the stack level, to provide a way to diagnose slow degradation phenomena in a commercial SOFC stack (www.design-sofc-diagnosis.com/).

R&D 5.2.1

Funding:	EU-FP7
Period:	2011–2013
- HITTEC – INTEGRATION OF HIGH TEMPERATURE THERMOELECTRIC CONVERTER FOR ELECTRICITY GENERATION IN A SOLID OXIDE FUEL CELL SYSTEM**

Lead: **Empa**

Contact: **Andre Heel** andre.heel@Empa.ch

Abstract: To convert waste heat from solid oxide fuel cells into electricity is the goal of the "HITTEC" project. Researchers from Empa, in a strategic partnership with Hexis AG, are developing a thermoelectric converter to make fuel cell systems more efficient, possibly generating an extra 10 per cent energy output. However, the first step is to develop suitable materials to meet a diverse range of requirements.

R&D 5.2.1

Funding:	BFE
Period:	2012–2016
- LOTUS – LOW TEMPERATURE SOLID OXIDE FUEL CELLS FOR MICRO-CHP APPLICATIONS**

Lead: **Htcearmix / SOFCPower**

Contact: **Olivier Bucheli** olivier.bucheli@htceramix.ch

Abstract: The objective of the LOTUS project is to build and test a Low Temperature SOFC system prototype based on new SOFC technology combined with low cost, mass-produced, proven components. The use of a modular concept and design practices from the heating appliances industry will reduce maintenance and repair downtime and costs of the system.

R&D 5.2.1

Funding:	EU-JU FCH
Period:	2009–2012
- MCFC-BRENNSTOFFZELLEN-PILOTANLAGE GRÜNAU.**

Lead: **EWZ**

Contact: **Mevina Feuerstein** Mevina.Feuerstein@ewz.ch

Abstract: Die Schmelzkarbonat-Brennstoffzellen-Anlage (Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC) in der Heizzentrale der Überbauungsgemeinschaft Grünau soll aufzeigen, wie sie sich in einem realen Wärme-, Strom- und Erdgasnetz längerfristig bewährt. Zudem soll die Pilotanlage aufzeigen, wie sich die Brennstoffzelle im Dauerbetrieb verhält und wie sich die Betriebskosten entwickeln. Der elektrische Jahresnutzungsgrad liegt bei ca. 42% und der gesamte Jahresnutzungsgrad ca. 80%.

P&D 5.2.1

Funding:	EWZ, Erdgas Zürich
Period:	2010–2022

MODELING OF ENERGY CONVERSION PROCESSES AT THE MICROSCALE

R&D 5.2.1

Lead:

PSI

Funding:

BFE

Contact:

Ioannis Mantzaras

ioannis.mantzaras@psi.ch

Period:

2009–2012

Abstract:

The aim of the project is to develop an advanced numerical tool capable of modeling key microscale processes occurring in both thermochemical and electrochemical conversion systems. A particular objective is to apply this model in a Polymer Electrolyte Fuel Cell (PEMC) and compare the predictions with measurements of permeabilities and diffusivities inside the gas diffusion layer (GDL).

ONEBAT – BATTERY REPLACEMENT USING MINIATURIZED SOLID OXIDE FUEL CELL

R&D 5.2.1

Lead:

ETHZ

Funding:

SNF

Contact:

Anja Bieberle

anja.bieberle@mat.ethz.ch

Period:

2010–2013

Abstract:

The idea behind the project proposal is the vision of a micro-SOFC system which can be used as battery replacement for small portable electronic equipment. A factor of two to four higher energy density, geographical independence and immediate charging are expected from a micro-SOFC system compared to state-of-the-art Li-ion batteries. Polymer based fuel cells are not expected to show similar performance improvements over state-of-the-art batteries.

RAMSES – ROBUST ADVANCED MATERIALS FOR METAL SUPPORTED SOFC

R&D 5.2.1

Lead:

Htcermix

Funding:

EU-FP7

Contact:

Olivier Bucheli

olivier.bucheli@htcermix.ch

Period:

2010–2012

Abstract:

The objective is to develop a SOFC cell with an improved lifetime thanks to the low operating temperature (600°C) while achieving high performances by applying advanced low-temperature electrodes and electrolyte materials. The Metal Supported Cell concept (MSC) will in addition reduce statistically based mechanical failures and decrease manufacturing cost by decreasing the amount of expensive ceramic materials to minimum.

REFORCELL – ADVANCED MULTI-FUEL REFORMER FOR CHP-FUEL CELL SYSTEMS

R&D 5.2.1

Lead:

Quantis Sàrl

Funding:

EU-FP7

Contact:

Patricia Girardbille

info@quantis-intl.com

Period:

2012–2015

Abstract:

The main focus of the project is to develop a new multi-fuel membrane reformer for pure hydrogen production (5 Nm³/h) based on Catalytic Membrane Reactors in order to intensify the process of hydrogen production through the integration of reforming and purification in one single unit. The novel reactor will be more efficient than the state-of-the-art technology due to an optimal design aimed at circumventing mass and heat transfer resistances (<http://reforcell.eu/>).

ROBANODE – UNDERSTANDING AND MINIMIZING ANODE DEGRADATION IN HYDROGEN AND NATURAL GAS FUELLED SOFCs

R&D 5.2.1

Lead:

EPFL

Funding:

EU-FP7

Contact:

Jan van Herle

jan.vanherle@epfl.ch

Period:

2010–2012

Abstract:

The proposed project offers an effective methodology for a holistic approach of the SOFC anode degradation problem, through detailed investigation of the degradation mechanisms under various operating conditions and the prediction of the anode performance, degradation and lifetime on the basis of a robust mathematical model, which takes into account all underlying phenomena (<http://robanode.iceht.forth.gr/>).

SCOTAS – SULPHUR, CARBON, AND RE-OXIDATION TOLERANT ANODES AND ANODE SUPPORTS FOR SOFC

R&D 5.2.1

Lead:

Hexis AG

Funding:

EU-FP7

Contact:

Andreas Mai

andreas.mai@hexis.com

Period:

2008–2011

Abstract:

The project will demonstrate a new full ceramic SOFC cell with superior robustness as regards to sulphur tolerance, carbon deposition (coking) and re-oxidation (redox resistance). Having a more robust cell will enable the system to be simplified, something of particular importance for combined heat and power (CHP). The new ceramic based cell will be produced by integrating strontium titanates, into existing, proven SOFC cell designs (www.scotas-sofc.eu).

SOF-CH ASE — INCREASED EFFICIENCY AND RELIABILITY OF SOFC SYSTEM USING ANODE-SUPPORTED-ELECTROLYTE TECHNOLOGY

R&D 5.2.1

Lead:

HTcermix SA

Funding:

BFE / SER

Contact:

Olivier Bucheli

olivier.bucheli@htcermix.ch

Period:

2010–2013

Abstract:

Solid oxide fuel cells (SOFC), based on ceramics as central components, stand out with the highest potential for electrical efficiency, longevity and manageable cost, owing to thermal process integration, wide fuel flexibility, and absence of corrosive liquids and noble metals. This project addresses the three crucial features of electrical efficiency, durability and reliability of operation.

● **SOF-CH ESC – ELECTROLYT SUPPORTED SOLID OXID FUEL CELLS FOR SMALL COMBINED HEAT AND POWER PLANTS**

R&D 5.2.1

Lead: Hexis AG

Funding: BFE / SER

Contact: Andreas Mai

andreas.mai@hexis.com

Period: 2010–2013

Abstract: It is the main target of the project to develop new solutions which lead to a significant extension of the stack lifetimes, based on new and established know-how. In addition the planned project will also include characterisation and modelling activities for reliable lifetime predictions.

● **SOFC-LIFE – INTEGRATING DEGRADATION EFFECTS INTO LIFETIME PREDICTION MODELS**

R&D 5.2.1

Lead: Empa / EPFL / Hexis / HTceramix / ZHAW

Funding: EU-FP7

Contact: Jan van Herle

jan.vanherle@epfl.ch

Period: 2011–2013

Abstract: Long-term stable operation of Solid Oxide Fuel Cells (SOFC) is a basic requirement for introducing this technology to the stationary power market. Degradation phenomena limiting the lifetime can be divided into continuous (baseline) and incidental (transient) effects. This project is concerned with understanding the details of the major SOFC continuous degradation effects.

● **SOFCOM – SOFC CCHP WITH POLY-FUEL: OPERATION AND MANAGEMENT**

R&D 5.2.1

Lead: EPFL

Funding: EU-FP7

Contact: Jan van Herle

jan.vanherle@epfl.ch

Period: 2011–2014

Abstract: SOFCOM is an applied research project devoted to demonstrate the technical feasibility, the efficiency and environmental advantages of CCHP plants based on SOFC fed by different typologies of biogenous primary fuels (locally produced), also integrated by a process for the CO₂ separation from the anode exhaust gases (<http://areeweb.polito.it/ricerca/sofcom/>).

● **T-CELL – INNOVATIVE SOFC ARCHITECTURE BASED ON TRIODE OPERATION**

R&D 5.2.1

Lead: EPFL

Funding: EU-FP7

Contact: Jan van Herle

jan.vanherle@epfl.ch

Period: 2012–2015

Abstract: In order to provide a proof of concept of the stackability of triode cells, a triode SOFC stack consisting of at least 4 repeating units will be developed and its performance will be evaluated under methane and steam co-feed, in presence of a small concentration of sulphur compound. Success of the overall ambitious objectives of the proposed project will result in major progress beyond the current state-of-the-art.

● **ANTIOXIDANT STRATEGIES FOR THE STABILIZATION OF FUEL CELL MEMBRANES AGAINST OXIDATIVE STRESS**

R&D 5.2.2

Lead: PSI

Funding: SNF

Contact: Lorenz Gubler

lorenz.gubler@psi.ch

Period: 2010–2014

Abstract: The chemical stability of fuel cell membranes represents a major challenge. During fuel cell operation, reactive oxygen species (ROS) are created as intermediates. They can attack the ionomer and cause degradation and aging, eventually leading to the failure of the cell. The aim of this project is to incorporate antioxidant functionalities into the membrane to protect the polymer from oxidative degradation.

● **CHIC – CLEAN HYDROGEN IN EUROPEAN CITIES / SCHWEIZER WASSERSTOFFTANKSTELLE**

P&D 5.2.2

Lead: Postauto AG

Funding: EU-FP7 / BFE

Contact: Nikolettta Seraidou

nikolettta.seraidou@postauto.ch

Period: 2010–2016

Abstract: Hydrogen and fuel cells can play an important role in the reduction of local air pollutants, as well as in the decarbonisation of Europe's transport system. Hydrogen powered transport is currently able to meet the normal operational requirements of buses and light passenger and commercial vehicles. The objective of CHIC is to move these demonstration vehicles towards full commercialization by 2015 (<http://chic-project.eu>).

● **DEMMEA – UNDERSTANDING THE DEGRADATION MECHANISMS OF MEA FOR HIGH TEMPERATURE PEMFCS**

R&D 5.2.2

Lead: PSI / Belenos

Funding: EU-FP7

Contact: Felix Büchi

felix.buechi@psi.ch

Period: 2010–2012

Abstract: High temperature PEM fuel cell technology is based on H₃PO₄ imbibed polymer electrolytes. The most challenging areas towards the optimization are: (i) stable long lasting polymer structures with high ionic conductivity and (ii) the development of catalytic layers with novel structures aiming to more active and stable electrochemical interfaces with minimal Pt corrosion (<http://demmea.iceht.forth.gr>).

DEVELOPMENT OF A 25 KW HYDROGEN/OXYGEN FUEL CELL SYSTEM

R&D 5.2.2

Lead:	PSI	Funding:	KTI
Contact:	Dietrich Philipp philipp.dietrich@psi.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	To achieve a competitive component for a fuel cell (FC) driven powertrain for a passenger car the FC-system has to meet several goals, which shall be addressed in the BELENOS CLEAN POWER -Fuel Cell project. The degradation of the FC-system shall be reduced by optimal stack design and a specific operation strategy for a H ₂ -O ₂ FC. The cost issue will be addressed by improving production processes of the components, integration of system components and the development of the concept of an industrial assembly process.		

GAS-ANALYSE IN POLYMERELEKTROLYT-BRENNSTOFFZELLEN

R&D 5.2.2

Lead:	PSI	Funding:	BFE
Contact:	Felix Büchi felix.buechi@psi.ch	Period:	2007–2012
Abstract:	Transportprozesse spielen in Brennstoffzellen einerseits für die Optimierung von Leistung und Wirkungsgrad andererseits für die Lebensdauer und Degradation eine entscheidende Rolle. Reaktanden und teilweise das Reaktionsprodukt Wasser sind gasförmig. Lokale Gasanalyse in der Zelle während des Betriebes ist daher ein wichtiges und interessantes Werkzeug zum Verständnis dieser Prozesse. Die Methode mit Tracer gasen und in-situ Analytik ist neu und einzigartig.		

GREENPOWER: CONNECTING THE RENEWABLE ENERGY TO GREEN MOBILITY USING HYDROGEN AS ENERGY CARRIER UNDER THE BELENOS CLEAN POWER INITIATIVE

R&D 5.2.2

Lead:	PSI / EPFL	Funding:	SNF (nano-tera)
Contact:	Lorenz Gubler lorenz.gubler@psi.ch	Period:	2010–2013
Abstract:	As part of the developments on-going within Belenos, an issue is the development of adequate membranes for the fuel cells. In this project, the membrane will be based on new materials to enable a cost effective application in an H ₂ -O ₂ fuel cell. These new membranes will be optimized for cost as well as for mechanical and chemical stability. Another issue addressed in this project is the safety related to hydrogen and oxygen storage in a car or at home.		

H2FC EUROPEAN INFRASTRUCTURE PROJECT

R&D 5.2.2

Lead:	PSI	Funding:	EU-FP7
Contact:	Irene Waltherth irene.waltherth@psi.ch	Period:	2011–2015
Abstract:	H2FC European Infrastructure addresses the topic INFRA–2011-1.1.16 Research Infrastructures for H2FC Facilities and the related energy-chains, by bringing together, for the first time in Europe, the leading European R&D institutions of the H2 community together with those of the fuel cell community, covering the entire life-cycle of H2FC, i.e. hydrogen production, storage, distribution, and final use in fuel cells (www.h2fc.eu/).		

HY.MUVE – HYDROGEN DRIVEN MUNICIPAL VEHICLE

P&D 5.2.2

Lead:	Empa	Funding:	CCEM / Empa / BFE ...
Contact:	Christian Bach christian.bach@empa.ch	Period:	2009–2012
Abstract:	Bei der Einführung der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie auf dem Markt spielen geeignete Nischenanwendungen als Wegbereiter eine wichtige Rolle. Im diesem Projekt wird ein praxi tauglicher Brennstoffzellenantrieb für ein Kommunalfahrzeug entwickelt, mit dem der energetische Verbrauch gegenüber heutigen, dieselmotorisch betriebenen Antrieben halbiert werden kann. Das Fahrzeug wird anschliessend während 1,5 Jahren im praktischen Einsatz in verschiedenen Städten eingesetzt (www.Empa.ch/hy.muve).		

IHPOS – INDEPENDENT-HYDROGEN-POWER-SYSTEM ADVANCED FUEL CELL STACK

R&D 5.2.2

Lead:	BFH Biel	Funding:	KTI
Contact:	Michael Höckel hkm1@bfh.ch	Period:	2005–2012
Abstract:	Im Zentrum des Projektes steht die Entwicklung eines Brennstoffzellenstapels, den die Firma CEKA Elektrowerkzeug AG zunächst für Nischenmärkte fertigen und vertreiben will. Dabei ist die industrielle Fertigung der Komponenten (Wasserstrahlteile durch Stanzteile ersetzen) sowie die Montage (wirtschaftliche Kleinserienherstellung) durch innovative Lösungen zu realisieren.		

IHPOS-E – BRENNSTOFFZELLEN-MINIBAR

P&D 5.2.2

Lead:	CEKAtec	Funding:	BFE
Contact:	Marco Santis Marco.Santis@ceka.ch	Period:	2010–2013
Abstract:	Providing hot and cold food and drinks on trains is a valuable revenue stream for train operating companies. However, the choice of electrical appliances and hence, goods, is limited by today's conventional power sources: batteries. Batteries provide a limited amount of energy and are prone to needing replacing. CEKA's IHPOS-E 500W fuel cell system has already been successfully integrated into a minibar for Swiss trains, providing freshly made coffee and onboard refrigeration.		

● **IMPALA – IMPROVE PEMFC WITH ADVANCED WATER MANAGEMENT AND GAS DIFFUSION LAYERS FOR AUTOMOTIVE APPLICATION**

R&D 5.2.2

Lead:	PSI	Funding:	EU-FP7
Contact:	Irene Waltherth irene.waltherth@psi.ch	Period:	2012–2015
Abstract:	The purpose of the IMPALA project is to manufacture improved GDL to increase performance (up to 1 W/cm ²) and durability of PEMFC for automotive applications. Two approaches will be followed: i) Homogeneous GDL will be modified to ensure a better water management on anode and on cathode side. ii) More innovative non uniform GDL will be manufactured to adjust their local properties to the non uniform local operating conditions of a PEMFC.		

● **MEMDEG**

R&D 5.2.2

Lead:	PSI	Funding:	BFE
Contact:	Lorenz Gubler lorenz.gubler@psi.ch	Period:	2011–2014
Abstract:	Understanding degradation mechanisms of radiation grafted proton conducting membranes under fuel cell operating conditions.		

● **MOBYPOST – MOBILITY WITH HYDROGEN FOR POSTAL DELIVERY**

R&D 5.2.2

Lead:	MES SA	Funding:	EU-FP7
Contact:	Roberto Bianchi bianchir@mes-dea.ch	Period:	2011–2014
Abstract:	MobyPost proposes to develop the concept of electric vehicles powered by fuel cells for delivery application and a local hydrogen production and associated refuelling apparatus from a renewable primary energy source, using industrial buildings to produce hydrogen by electrolysis, roofs of the buildings being covered of photovoltaic solar cells able to supply electrolysis. (http://mobypost-project.eu/).		

● **MORPHOLOGICAL STUDIES OF POLYMER ELECTROLYTES FOR FUEL CELL APPLICATION**

R&D 5.2.2

Lead:	PSI	Funding:	SNF
Contact:	Joachim Kohlbrecher joachim.kohlbrecher@psi.ch	Period:	2011–2013
Abstract:	Despite the increasing interest in ion-conducting polymer electrolytes, the influence of the molecular composition on the morphology, and the influence of the morphology on the functional properties are far from being understood. Small-angle neutron scattering (SANS) and small-angle X-ray scattering (SAXS) are used to probe the morphology of the fuel cell membranes on the nanometer scale.		

● **PEMICAN – PEM WITH INNOVATIVE LOW COST CORE FOR AUTOMOTIVE APPLICATION**

R&D 5.2.2

Lead:	Timcal SA	Funding:	EU-FP7
Contact:	Michael Spahr m.spahr@ch.timcal.com	Period:	2011–2014
Abstract:	PEMICAN proposes to reduce the Pt loading for automotive application down to 0.15 gram of Pt per kW, by a twofold approach: 1. to increase Pt utilization and power density by improving effective transport properties of ALs by tuning properties of the electrolyte and by adding special carbon blacks in order to improve catalyst, electrolyte distribution and water management; 2. to reduce Pt loading by controlling its distribution.		

● **RÖNTGEN-MIKRO-TOMOGRAPHIE UND RADIOGRAPHIE**

R&D 5.2.2

Lead:	PSI	Funding:	BFE
Contact:	Felix Büchi felix.buechi@psi.ch	Period:	2008–2012
Abstract:	Transportprozesse gehören zu den wichtigsten Parametern für die Optimierung von Polymerelektrolyt-Brennstoffzellen. Kondensiertes Wasser beeinflusst die Transporteigenschaften der Reaktanten in der mikroporösen Gasdiffusionsschicht. Das Verständnis dieser Transport-Limitationen und deren Änderungen mit der Betriebsdauer (Alterung) ist dabei zentral für die Leistungsoptimierung.		

● **SAFEDRIVE – A PLATFORM POWER MANAGEMENT SYSTEM AND LOW VOLTAGE DRIVE TRAIN FOR HYBRID AND ELECTRIC VEHICLES**

R&D 5.2.2

Lead:	e'mobile	Funding:	EU-FP7
Contact:	Susanne Wegmann swegmann@e-mobile.ch	Period:	2010–2013
Abstract:	The European hybrid, electric and fuel cell vehicle industry commercialise small volumes of low-emission vehicles. These vehicles do not meet customer performance demands, at a price point which is competitive with IC engines. Large vehicle manufacturers overcome this gap and reduce their development costs by platform sharing component technologies. The proposal addresses the technology gap through the development of an open platform power management system, with customisable performance and efficiency.		

S-CHAIN FUNDAMENTALS (BELENOS)

R&D 5.2.2

Lead:	PSI	Funding:	BFE / Belenos
Contact:	Felix Büchi felix.buechi@psi.ch	Period:	2010–2013
Abstract:	The main project goals are to understand and improve the operation of the polymer electrolyte fuel cells (PEFC) of Belenos by means of numerical simulations and to develop a simulation program tailored to describe the complex S_Chain design and to understand and improve the sub-zero operation by experimental investigation and by modeling of the sub-zero start and operation for H2/O2 operation.		

SWISS FUEL CELL

R&D 5.2.2

Lead:	Belenos Clean Power AG	Funding:	0
Contact:	0 www.belenoscleanpower.com	Period:	2007–...
Abstract:	Design and assembly of Fuel Cell stacks and systems. The development of H2-O2 fuel cell systems for applications in boats, UPS' and back-up power. The development of H2-air fuel cell systems for mobility applications (Hybrid hydrogen fuel cell car). Development of the electronic control of the fuel cell including the cell voltage monitoring (CVM) and the controller interface. Integration of such systems in the electric drive systems of vehicles.		

BACWIRE – BACTERIAL WIRING FOR ENERGY CONVERSION AND REMEDIATION

R&D 5.2.3

Lead:	Uni Bern	Funding:	EU-FP7
Contact:	Thomas Wandlowski thomas.wandlowski@dcb.unibe.ch	Period:	2009–2012
Abstract:	The aim of the project is to develop a new paradigm for the simultaneous cogeneration of energy and bioremediation using electro-active bacteria. A new nano-structured transducer that efficiently connects to these bacteria will be developed, aiming to the production of devices with superior performance across a range of applications including microbial fuel cells, whole cell biosensors and bioreactors.		

FCPOWEREDRBS – DEMONSTRATION PROJECT FOR POWER SUPPLY TO TELECOM STATIONS THROUGH FC TECHNOLOGY

P&D 5.2.3

Lead:	MES SA	Funding:	EU-FP7
Contact:	Gianmario Picciotti g.picciotti@mes.ch	Period:	2012–2014
Abstract:	FC and H2 may represent an enabling technology for a wider diffusion of Radio Base Station energized by renewable energy sources. While the expected higher energy efficiency already has an attractive potential for these applications, the energy storage potential of H2 is even more interesting as it could extend significantly the number of hours of unattended operation which very much determines the overall energy cost for these installation.		

FITUP – FUEL CELL FIELD TEST DEMONSTRATION FOR PORTABLE GENERATORS, BACKUP AND UPS POWER SYSTEM APPLICATIONS

P&D 5.2.3

Lead:	HTA Luzern / Swisscom / Polycom NW & LU	Funding:	EU-FP7
Contact:	Ulrike Trachte ulrike.trachte@hslu.ch	Period:	2010–2013
Abstract:	A total of 19 market-ready fuel cell systems from 2 suppliers (ElectroPS, FutureE) will be installed as UPS/ backup power sources in selected sites across the EU. Real-world customers from the telecommunications and hotel industry will utilize these fuel cell-based systems, with power levels in the 1-10kW range, in their sites. These units will demonstrate a level of technical performance that qualifies them for market entry (www.fitup-project.eu).		

IEA ADVANCED FUEL CELL IMPLEMENTING AGREEMENT (IEA-AFC)

R&D 5.2

Lead:	BFE	Funding:	BFE
Contact:	Stefan Oberholzer stefan.oberholzer@bfe.admin.ch	Period:	2010
Abstract:	The aim of the IEA Advanced Fuel Cells programme is to advance the state of understanding of all Contracting Parties in the field of advanced fuel cells. It achieves this through a co-ordinated programme of research, technology development and system analysis on Molten Carbonate (MCFC), Solid Oxide (SOFC) and Polymer Electrolyte Fuel Cell (PEFC) systems.		

IEA ADVANCED FUEL CELL IMPLEMENTING AGREEMENT – ANNEX FUEL CELLS FOR STATIONNARY APPLICATIONS: MARKET OUTLOOK FOR STATIONNARY FUEL CELLS (LEAD)

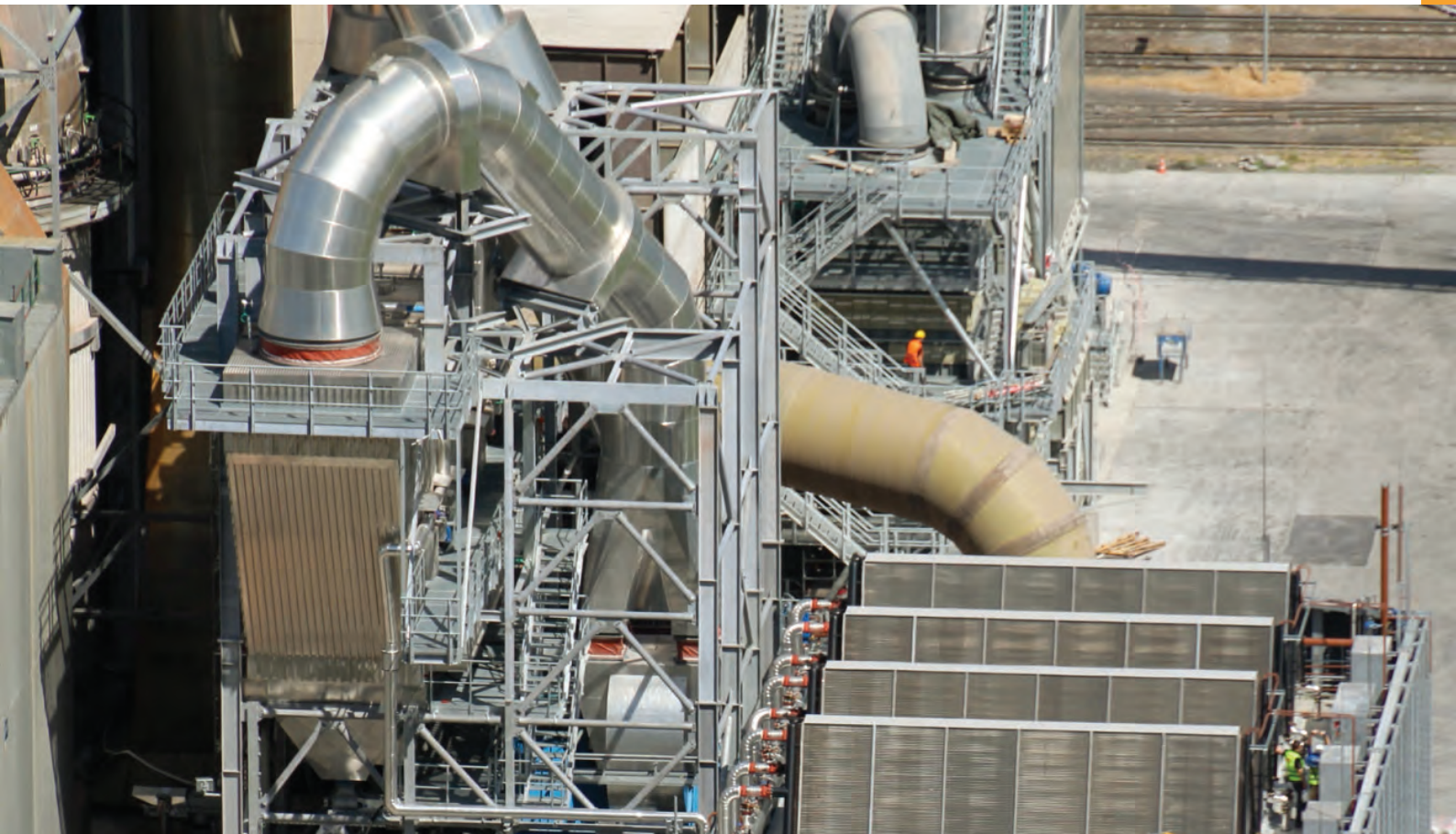
R&D 5.2.1

Lead:	Beratung Thoma & Renz	Funding:	BFE
Contact:	Stephan Renz renz.btr@swissonline.ch	Period:	2006–2013
Abstract:	Im Rahmen des Task Stationäre Anwendung von Brennstoffzellen sollen vorrangig die folgenden Inhalte erarbeitet werden: Analyse der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für den Einsatz von stationären Brennstoffzellen, Identifizierung von Nischenmärkten und von Marktapplikationen für die möglichst breite Anwendung bzw. Markteinführung von stationären Brennstoffzellen sowie Analyse der Chancen und Barrieren für die Marktimplementierung von Brennstoffzellen.		



Michael Spirig

Industrielle Prozesse



2 MWe-ORC-Abwärmeverstromungsanlage im Holcim-Zementwerke in Untervaz

In der Zement- und Stahlindustrie, in der Steinwolleproduktion sowie bei Ziegeleien fallen grosse Abwärmemengen an, die man zunehmend nutzen möchte. In einer ORC-Anwendung (ORC = Organic Rankine Cycle) wird die Abgasabwärme des Holcim-Zementwerkes in Untervaz in elektrischen Strom umgewandelt.

Einleitung

Im Jahr 2011 betrug der Anteil der Industrie am Endverbrauch der Schweiz (852 PJ) 19,2 % und der der Dienstleistungen 15,6 %. Monetär ausgedrückt sind dies ca. 10,8 Mrd. CHF oder 1,9 % des BIP. Im Industriesektor werden 58 % fossile und 42 % elektrische Energie eingesetzt. Da sich der Ölpreis in den letzten 10 Jahren mehr als verdoppelte, entspricht dies ca. 1,8 Mrd. CHF (0,3 % BIP) Mehrausgaben pro Jahr als 2002. Die Industrie und das verarbeitende Gewerbe sind mit 32,8 %, nach den Haushalten mit 30,6 % und den Dienstleistungen mit 26,8 %, nach wie vor der grösste Stromverbraucher in der Schweiz und werden damit von den künftigen Änderungen in diesem Bereich stark betroffen sein.

Beim Energieverbrauch der Industrie machen die Prozesse ca. 78 % aus (= ca. 15 % der gesamten in der Schweiz verbrauchten Energie). Davon entfallen ca. 54 % auf die Prozesswärme und ca. 24 % auf Antriebe und Prozesse. Diese Verbrauchszahlen und Verhältnisse sind von 2000–2011 relativ konstant (+1,6 % Endenergieverbrauch) und hängen hauptsächlich von der Wirtschaftsentwicklung ab. Das noch realisierbare Einspar- und Rückgewinnungspotenzial von ca. 30–50 % würde zu einer 5–8 %-igen Energieverbrauchsverminderung für die Schweiz führen.

Die Entwicklung und Akzeptanz von energetischen Verbesserungen in industriellen Prozessen erfordert professionelle, qualitativ hochstehende Lösungen, welche neben dem spezifischen Know-how auch Kontinuität in der Forschung voraussetzen. Dies ist eine zentrale Aufbauaufgabe des Forschungsprogrammes *Industrielle Prozesse*. Vielfältig und breit ist das Technologieportfolio zur Beherrschung der enormen Anzahl von verfahrens- und fertigungstechnischen Prozessen, welche zur Erstellung von Produkten und Dienstleistungen erforderlich sind. Ebenso vielfältig und innovativ ist das erforderliche Know-how zur Eruierung des jeweiligen Energieverbrauchs und des energetischen Verbesserungspotenzials dieser Prozesse. Auch der Kenntnisstand ist sehr unterschiedlich: So sind in gewissen Branchen und Produktionstechniken (Fertigungstechnik) die Erfassung von effektiven Energieströmen und Verlusten, der zugehörigen Messverfahren sowie Quantifizierungsmethoden erst im Aufbau. Dieser Erfahrungsausbau ist dann eine wichtige Basis dafür, dass energie-fokussierte Entwicklungen überhaupt angegangen werden. Daneben geht es zum Beispiel in energieintensiven Branchen und gewissen verfahrenstechnischen Prozessen mehr und mehr darum, reifen Technologien und bekannten Massnahmen zum Energiesparen und -rückgewinnen zum Durchbruch zu ver-

helfen. Auch vorhandene Erkenntnisse und Tools wie Prozessintegration (PinCH) oder Lebenszyklusanalysen (LCA) müssen breit einsetzbar gemacht werden. Aber auch hierfür braucht es zuweilen noch Forschung an Grundlagen wie Reaktionskinetik, Materialien usw. sowie vertiefte Analysen und Innovationen. Wesentlich sind auch Messungen und Tests an Pilot- und Demonstrationsanlagen zum Aufbau und zur Validierung von Berechnungsmodellen und zur Einsatzoptimierung neuer Systeme. Im Speziellen geht es darum, effektive Investitionen, Amortisationszeiten und Risiken kalkulierbarer zu machen.

Fazit ist, dass zur Realisierung des oben genannten Einspar- und Rückgewinnungspotenzials noch in allen Bereichen grosser Forschungsbedarf besteht. Interdisziplinäre Zusammenarbeit und ganzheitliche Betrachtungsweisen sowie der Aufbau von fundierten Methoden sind wesentlich und im langfristigen Fokus des Programmes *Industrielle Prozesse*. Die Programmschwerpunkte liegen im Bereich «Methoden und Tools», «Abwärmennutzung sowie Integration von erneuerbaren Ressourcen» und «effiziente Verfahren und Strategien inkl. P&D-Projekte». In allen Bereichen verfügt die Schweiz über spezifische, gute Kompetenzen und entsprechende Projekte sind in der Ausarbeitung.

IEA Klassifikation: 1.1 Industry

Schweizer Klassifikation: 1.10 Verfahrenstechnische Prozesse

Programmschwerpunkte

Forschungsschwerpunkte sind:

- die Entwicklung und Anwendung von Methoden und (Entscheidungs-)Tools;
- Abwärmenutzung inkl. Energieträgerproduktion aus Reststoffverwertung sowie Integration von erneuerbaren Ressourcen;
- Realisierung energieeffizienter Verfahren und Strategien inkl. P&D-Projekte.

Rückblick und Bewertung 2012

Im Berichtsjahr unterstützte das BFE insgesamt zwei Projekte aus dem ETH-Bereich (EHTZ) und sechs (weitere zwei sind geplant) der Fachhochschulen (FHNW, HSLU, HSR, ZHAW), sowie vier der Industrie und einer Stiftung (BMG Engineering, BSB + Partner AG, Zeochem AG, Swiss Excellence).

Auch im Jahre 2012 konnten im Programm in den Bereichen «Methoden und Tools» wichtige Fortschritte, Erweiterungen und Validierungen, die zur Umsetzbarkeit beitragen, erzielt werden. Für die Kommerzialisierung des an der ETH entwickelten Energy Monitoring Software-Tools EMT besteht die grosse Herausforderung, die erforderlichen personellen und finanziellen Ressourcen rechtzeitig beschaffen zu können.

Bei der «Abschätzung von Massen- und Energieflüssen in der chemischen Industrie» konnte das Funktionieren des Konzeptes gezeigt werden. Im Bereich LCA sind die geplanten Fallstudien durchgeführt und ausgewertet. Für interessierte Kreise ist das Tool als open-source Software aufbereitet resp. als Downloadtool allgemein verfügbar (www.ifu.ethz.ch/ESD/downloads/LCA4AFR). Auch international, d. h. im Implementing Ag-

reement (IA) IETS der Internationalen Energieagentur IEA und allenfalls in den EU-Calls von Horizon 2020 scheint unter Mitwirkung der Schweiz die Methoden- und Tool-Entwicklung vermehrt ins Gespräch zu kommen. Die nationale und internationale Vernetzung der relativ kleinen, kompetenten Toolentwicklungs-Gruppen sowie die Ermöglichung deren Teilnahme in internationalen Projekten wird gefördert.

Im Bereich «Abwärmenutzung sowie Integration von erneuerbaren Ressourcen» wurde eine Marktübersicht-Studie finalisiert und drei neue Projekte zur Wärmerückgewinnung (ORC, Thermosiphon, Dampfspeicher) lanciert sowie weitere Projektideen vorbesprochen (u. a. Klein-ORC, schmutzresistente Wärmetauscher). Projekte zur Nutzung von erneuerbaren Ressourcen, d. h. im Speziellen zur Erzeugung von solarer Wärme zwischen 200–400 °C, laufen im Programm *Industrielle Solarenergienutzung*. Aufschlussreiche, aber bezüglich Marktfähigkeit negative Aussagen wurden in den Studien «Abwärmenutzung mittels stationärer Zeolith-Speicher» sowie «Dampfspeicherfahrzeuge als Ersatz von lokalen Elektro- und Dieseltransportfahrzeugen» erarbeitet.

Bei der Realisierung «effizienter Verfahren» laufen ein Projekt zum Vergleich von verschiedenen Verfahren zur Entwässerung von Bioethanol für die Zugabe in Benzin sowie ein P&D-Projekt mit einer mobilen Gastrocknungsanlage zur Futtermittelherstellung. Das vorbereitende Forschungsprojekt wurde abgeschlossen. Die Anstrengungen zur Ausweitung der Aktivitäten auf die Fertigungstechnik haben im Jahre 2012 zur Lancierung von zwei neuen Projekten geführt (E-Effizienz beim Antriebsriemen und Kunststoffspritzgiessen siehe Titelbild).

Die weiterhin gute Industriebeteiligung, inkl. Finanzierung in den Projekten widerspiegelt das Interesse der Industrie am Thema, wenn es erst einmal geweckt ist. Es bestehen aber noch sehr viele unerkannte Hürden und Fragestellungen und somit R&D-Potenzial.

Für die Bekanntmachung und Vernetzung des Forschungsprogramms wurde u. a. an relevanten Veranstaltungen sowie an den Meetings der Innovationsgruppen Wärmetauscher und Prozessanlagen aktiv teilgenommen. International wurde der Kontakt mit IA IETS intensiviert, um eine Teilnahme in einem der passenden Tasks zu prüfen.

Ausblick

Eine Fortsetzung und allenfalls Stärkung der laufenden Aktivitäten hat weiterhin Priorität. Entsprechend zurückhaltend sind neue Themen auszuwählen und allenfalls national zu koordinieren. Neben der Tool-Entwicklung und der Umsetzung wird auch die Erforschung und Verbesserung sowie energetische Analyse von bestehenden und neuen Herstellverfahren im Fokus bleiben. Wichtig bei allen neuen Vorschlägen ist, dass die Möglichkeiten der Prozessintegration vorab in Erwägung gezogen wurden. Die Aktivitäten im Bereich Fertigungstechnik sind weiter auszubauen. Für den Herbst 2013 ist ein «Industry Energy Day – IED 2013» mit dem Fokus «Energieeffiziente Produktion: Konflikte – Potenziale» in Planung. Der IED soll u. a. Stakeholder zusammen bringen und das Set-up von künftigen R&D-Projekten für praxisorientierte Energie- und Kosteneffizienz in industriellen Prozessen unterstützen.

Highlights aus Forschung und Entwicklung

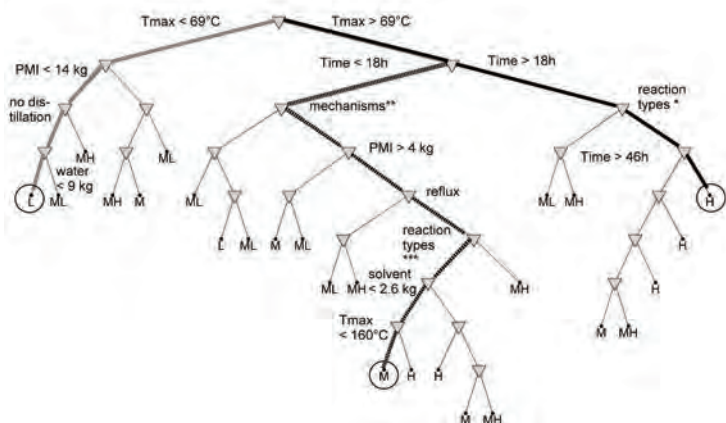
Im Jahr 2012 wurden im Bereich «Methoden und Tools» wichtige Fortschritte erzielt. Im Projekt «Abschätzung von Massen- und Energieflüssen in der chemischen Industrie» des Institutes für Chemie- und Bioingenieurwissenschaft der ETH Zürich wurden die wesentlichen Resultate erarbeitet und damit auch die Dissertation von Cecilia Pereira abschlussreif. Daher soll nachfolgend über dieses Projekt kurz berichtet werden.

Aufgrund der enormen Abwärmemengen aus industriellen Prozessen kommt der gezielten Nutzung dieser «gratis Energiequelle» mehr und mehr Bedeutung zu. Die Herausforderungen sind hierbei u. a. die unterschiedlichen Temperaturniveaus, die verschiedenen Verschmutzungsarten und Grade sowie die Verfügbarkeit. Auch die veränderte Gesamtsystemdynamik, die aus der Kopplung mit dem zugeschalteten Abwärmenutzungssystem entsteht, will beherrscht sein. Ein breites R&D-Feld öffnet sich hier, in welchem besonders der Wärmeauskopplungstechnologie eine tragende Rolle zukommt. Zwei entsprechende Projekte seien nachfolgend kurz vorgestellt. Da beim zweiten Projekt Validierungsmessungen an der zurzeit grössten ORC-Pilotanlage in der Schweiz gemacht werden, wird dieses Projekt unter dem Kapitel Pilot- und Demonstrationsprojekte aufgeführt (2 MW elektrische Leistung, Holcim-Zementwerke in Untervaz).

Abschätzung von Massen- und Energieflüssen in der chemischen Industrie

Ziel dieses Projektes war es, eine Vorhersage der Energie- und Materialflüsse in chemischen Produktionsprozessen anhand von prozessbasierten Modellen zu erlauben und auf diese Weise eine Energieallokation in Mehrzweck-Produktionsgebäuden zu ermöglichen. Material- und Energieverbrauch einzelner Reaktionen und Teilschritte in der Synthese können gezielt bestimmt und auf möglichst wenige dominante Betriebsparameter zurückgeführt werden. Verschiedene typische Trennungs- und Reinigungsverfahren in der chemischen Produktion wurden untersucht. Für die Anwendung dieser Modelle ist letztlich dann nur die Kenntnis des Syntheseweges und einiger weniger Parameter nötig.

In Figur 1 sind im resultierenden Prozess-Klassifizierungsbaum, zum Zeitpunkt, wenn die Prozessparameter Temperatur, Dauer und Massen bekannt sind, beispielhaft drei mögliche Auslegungspfade markiert: Tiefer (L), mittlerer (M) und hoher (H) Dampfverbrauch (ML = mittel-tief, MH = mittel hoch). Tmax bezieht sich auf die maximale Temperatur, welche während der Reaktion oder dem Prozessschritt erreicht wird.



Figur 1: Prozess-Klassifizierungsbaum für tiefen bis hohen Dampfverbrauch. PMI = Process Mass Intensity = totale Inputmasse durch Produktmasse; PMIw = Water PMI = Wasser-Inputmasse durch Produktmasse; PMIs = Solvent PMI = Lösungsmittel-Inputmasse durch Produktmasse. Reaktionstypen: *Acylierung, Alkylierung, Komplexbildung, Kondensation, Polymerisation, Reduktion; **AEN (Elimination der nukleophilen Addition), SN2 (nukleophile Substitution), SNAr (aromatische nukleophile Substitution); *** Alkylierung, Kondensation, N-Acylierung, Polymerisation.

Die gewonnene Methodik und Resultate lassen sich zu einem späteren Zeitpunkt als «Energieverbrauchsschätzung» in anderen Tools wie dem EMT oder für ecoinvent Datensätze einsetzen. Ferner können diese auch zum Reaktions- und Prozess-Benchmarking, Life Cycle Assessment, Eco-labeling usw. sowie für weitere Studien und Entwicklungen dienen.

Innovative Wärmerückgewinnung aus heissen, verschmutzten Abgasen

In der Industrie werden grosse Abwärmemengen mit teilweise hohem Temperaturniveau ungenutzt an die Umgebung abgegeben. Das energetische Potenzial wird oftmals nicht genutzt, da verschiedene Abgas- bzw. Abluft-Bestandteile zu Fouling, Abrasion und massiver Korrosion in den Wärmeüberträgern führen können. Am Beispiel von Stahlwerken ist ersichtlich, dass die Abwärmenutzung mit herkömmlichen Wärmeüberträgern technisch und wirtschaftlich nicht umsetzbar ist. Mit schmutzresistenten Wärmeüberträgern, die unter extremen Bedingungen die geforderte Wärmeübertragungsleistung zuverlässig und dauerhaft gewährleisten, kann die Abwärme jedoch gezielt genutzt werden. Ein innovativer Ansatz ist der modulare Thermosiphon-Wärmeüberträger (Heat Pipe), welcher von der Hochschule Luzern in Zusammenarbeit mit der Swiss Energy Engineering GmbH entwickelt wird.

Für den Thermosiphon-Wärmeüberträger besteht zum einen ein Reinigungskonzept, zum anderen bietet er aufgrund seiner Modularität die Vorteile, dass im Falle einer Leckage die Leckagemenge auf die defekten Thermosiphons beschränkt ist und diese individuell ersetzt werden können. Darüber hinaus wird die thermische Leistung des Wärmeüberträgers im Falle von Defekten nur um den Anteil der defekten Siphons vermindert.

Im Laufe des Projektes wurde zunächst eine Recherche zum State of the Art von Thermosiphons und Thermosiphon-Wärmeüberträgern durchgeführt. Dar-

auf aufbauend wurde ein Auslegungsprogramm für diese Wärmeüberträger entwickelt. Mit diesem Programm lassen sich für definierte Thermosiphons und Thermosiphon-Wärmeüberträger bei vorgegebenen Strömungsverhältnissen und Temperaturen der Wärmequelle und -senke, die thermische Leistung und die Betriebstemperatur des Wärmeüberträgers und jedes einzelnen Thermosiphons berechnen. Zur Validierung des Auslegungsprogrammes wurde ein Prüfstand aufgebaut, mit welchem die thermische Leistung sowie die Betriebstemperatur eines einzelnen Thermosiphons gemessen werden kann. Der untersuchte Thermosiphon hat einen Durchmesser von 55 mm und eine Länge von 1 m. In Figur 2 (links) ist der Thermosiphonteil zur Wärmeaufnahme aus dem «Abgas» innerhalb der Prüfstrecke und in Figur 2 (rechts) der isolierte Teil ausserhalb zur Wärmeabgabe an ein Medium abgebildet. Als Wärmequelle wurde Luft bei 120 °C und als Wärmesenke eine Wasser/Glykol-Mischung bei -14 °C verwendet. Mit dem Prüfstand wurde die thermische Leistung des Siphons für verschiedene Arbeitsfluide bestimmt. In einer Parameterstudie konnte die Abhängigkeit der thermischen Leistung des Thermosiphons von verschiedenen Parametern ermittelt werden. Für die Arbeitsfluide Ethanol und Methanol wurde eine thermische Leistung von etwa 535 W gemessen und für das Arbeitsfluid Wasser eine thermische Leistung von etwa 420 W. Die maximale Leistung des Thermosiphons wurde bei dem Arbeitsfluid Ethanol bei einem Füllgrad von 12,5 % ermittelt. Die Untersuchungen haben ebenfalls gezeigt, dass nicht-kondensierbare Gase im Thermosiphon dessen thermische Leistung stark herabsetzen. In einem nächsten Schritt werden die gemessenen Werte mit den berechneten Grössen des Auslegungsprogrammes verglichen und das Programm gegebenenfalls optimiert und erweitert. Das validierte Auslegungsprogramm soll anschliessend zur Auslegung eines aus Thermosiphons bestehenden Wärmeüberträger-Prototypen eingesetzt werden. Die künftige Herausforderung wird es dann sein, die Technik und die Erkenntnisse auch für heissere Abgasströme umzusetzen.



Figur 2: Thermosiphon zur Wärmerückgewinnung aus heissen, verschmutzten Abgasen – Testmodell. (Links) Thermosiphonteil zur Wärmeaufnahme aus dem «Test-Abgas» innerhalb der Prüfstrecke. (Rechts) isolierter Thermosiphonteil ausserhalb des «Test-Abgasstromes» zur Wärmeabgabe an ein Medium.

Kostenreduktionspotenziale von Wärmetauschern in staubigen Abgasen

In der Zement- und Stahlindustrie, in der Steinwolleproduktion sowie bei Ziegeleien fallen grosse Abwärmemengen an, die man zunehmend nutzen möchte. Bei diesen Anwendungen liegt die Abwärme jedoch als heisser, stark staubeladener Abgasstrom vor. Um die Energie aus diesen Abgaströmen auszukoppeln, werden an die benötigten Wärmeübertragungssysteme hohe Anforderungen gestellt. Der

Staub lagert sich an den Wärmeüberträgerrohren ab und bildet eine isolierende Schicht, welche die Wärmeübertragungsleistung stark vermindert. Mit den momentan vorhandenen Berechnungsunterlagen kann dieses Verhalten nicht zuverlässig vorausgesagt werden. Folglich werden Wärmeüberträger mit hohen Sicherheitszulagen (zusätzliche Wärmeüberträgerfläche) ausgelegt, was mit höheren Investitionskosten verbunden ist. Im Rahmen des Projektes «Verbesserung der Berechnungsmodelle und Aufzeigen von Kostenreduktionspotenzialen



Figur 3: Holcim-Zementwerke mit der neuen 2 MWe-ORC-Abwärmeverstromungsanlage.

von Wärmetauschern in Anwendungen mit starker Staubbelastung» werden die Berechnungsgrundlagen für künftige Wärmeüberträgersysteme verbessert. Dadurch sollen die Kosten gesenkt und die Wirtschaftlichkeit, Attraktivität sowie die Verbreitung von Abwärmenutzungsanwendungen erhöht werden.

Um das Wärmeüberträger-Verhalten beschreiben zu können, werden thermodynamische Modelle benötigt. Zunächst wurden verschiedene Wärmeüberträgermodelle implementiert und mit Hilfe von Versuchen an einem Laborwärmeüberträger validiert. Bei diesen Versuchen ohne Staubverschmutzung liegen die

Abweichungen zwischen den gemessenen und berechneten Austrittstemperaturen im Bereich $-3,8$ bis $+4,1$ %.

Die geeigneten Modelle wurden auf eine reale Abwärmenutzungsanlage übertragen. Dabei handelt es sich um eine ORC-Anwendung, welche u. A. die Abgasabwärme des Holcim-Zementwerkes in Untervaz in elektrischen Strom umwandeln (2 MWe, siehe Figur 3 und Titelbild). Mit den Modellen wurde die Auslegung des Hauptwärmeüberträgers nachgerechnet. Dabei liessen sich die Spezifikationen sehr gut reproduzieren. Die Abweichungen bei der berechneten Wasser- und Luftaustrittstemperatur

liegen unter einem Prozent. Sobald die Anlage in einem stabilen Betrieb läuft, werden vom Wärmetauscher Messdaten erhoben, aufbereitet und mit Hilfe der Wärmeüberträgermodelle ausgewertet. Dabei interessieren vor allem die Wärmeübergangszahlen, die sich aufgrund der Verschmutzung zeitlich verändern. Diese Informationen sind wichtig für die optimale Auslegung zukünftiger, ähnlicher Abwärmenutzungsanwendungen. Zudem sind diese (Verschmutzungs-) Daten wichtige Informationen für die Berechnungsparameter im geplanten ORC-Modul des PinCH-Tools der HSLU (www.pinch-analyse.ch).

Nationale Zusammenarbeit

Die Beteiligung und das Interesse der Industrie in den einzelnen Projekten sind besonders aufgrund der Anwendungsnähe der Themen und der guten Kontakte der Forscher zur Industrie gut. Auch von der KTI wurden diverse Projektanträge mit guter Industriebeteiligung zur Stellungnahme vorgelegt und zum Teil auch unterstützt. Die Anzahl von Projekten mit einer grösseren Anzahl industri-

eller Stakeholder in energierelevante Forschungsaktivitäten entsprechen nicht den möglichen Einspar- und Rückgewinnungspotenzialen. Diese sind in der industriellen Praxis insgesamt noch ungenügend thematisiert und bedürfen einer verstärkten Kommunikation. Es besteht ein Austausch mit den BFE Forschungsprogrammen *Elektrizität, Industrielle Solarenergienutzung, Solarwärme, Energie in Gebäuden, WKK und Umgebungswärme*.

Internationale Zusammenarbeit

Die in der Schweiz laufenden Aktivitäten sind branchenspezifisch und orientieren sich in erster Linie an den Bedürfnissen der inländischen Industrie. Bei gewissen Themen beteiligen sich jedoch auch international aktive Grossfirmen. So ist u. a. im Projekt «LCA4AFR» der ETHZ voestalpine und der international operierende Konzern Holcim beteiligt. In einem anderen Projekt der ETHZ beteiligt sich BASF. International Beachtung finden vor allem die an der ETHZ und der EPFL entwickelten Tools für das «Energy Monitoring» (EMT) zur Analyse und Planungen chemischer Mehrprodukte-Batchbetriebe und das Tool für die Abschätzung von Ökobilanzdaten für die Produktion von Chemikalien (Finechem). Das Finechem-Tool ist bereits heute international im Einsatz, was auch Ziel für die anderen Analyse- und Decision-Aid-Tools ist.

Vom Forschungsprogramm *Industrielle Prozesse* des BFE aus wurde der Kontakt mit dem Implementing Agreement der Internationalen Energieagentur (IEA) Industrial Energy-Related Technologies and Systems (IETS) aufgenommen. Hierzu wurde im Herbst das ExCo-Meeting in Amersfoort

(NL) besucht und die Schweizer Interessen vorgestellt. Gegenseitige Interessen und Projektzusammenarbeitspotenzial konnte in den Annexes Industrial Heat Pumps (Joint Annex, an welchem die Schweiz beteiligt ist), Process integration in the iron and steel industry, Energy Efficiency in SME's, Industrial excess heat recovery und Biorefineries (im Abgleich mit dem IEA Bioenergy Task 33 Thermal Gasification of Biomass, an dem die Schweiz beteiligt ist) ausgemacht werden. LCA, method and tool development ist in Diskussion für einen neuen Annex.

Bei der EU wurden und werden die für die Schweiz prioritären Themenvorschläge für die EU FP7 Calls und das Nachfolge-Programm Horizon 2020 jeweils eingereicht. Eine direkte internationale Zusammenarbeit resp. eine vertiefte Klärung gemeinsamer Forschungsinteressen mit der EU ist offen. Eine zunehmende Beteiligung an den Ausschreibungen der EC z. B. in spezifischen Materialtechnologien, Anwendungen zur Abwärmenutzung etc. ist anzustreben, d. h. entsprechende Informationen u. a. zusammen mit Eu-research aufzubereiten.

Laufende und im Berichtsjahr abgeschlossene Projekte

(* IEA-Klassifikation)

- EFFIZIENZSTEIGERUNGEN VON LANDWIRTSCHAFTLICHEN TROCKNUNGSANLAGEN**

Lead: FHNW Fachhochschule Nordwestschweiz

Contact: Sandoval Lisseth lisseth.sandoval@fhnw.ch

Abstract: Es wird untersucht, ob der bei der Trockenfüttermittelherstellung anfallende, gebührenpflichtig zu entsorgende, Gras- (GPS) sowie Maispresssaft (MPS) durch biologische Umformungsprozesse zur Biogas-, Bio-Ethanolgewinnung oder Milchsäureherstellung verwendet werden kann. Die Untersuchung zur biotechnologischen Produktion organischer Säuren zeigt zudem, dass eine mikrobielle Produktion von Milchsäure aus beiden Pflanzenpresssäften möglich ist.

R&D 1.1*

Funding: BFE

Period: 2009–2012
- MARKTÜBERSICHT IN ENERGIEINTENSIVEN BEREICHEN DER SCHWEIZERISCHEN INDUSTRIE**

Lead: BMG Engineering AG

Contact: Reto Müller reto.mueller@bmgeg.ch

Abstract: Ziel ist eine Marktübersicht in energieintensiven Bereichen der Schweizerischen Industrie (Chemie, Pharma, Kunststoff, Nahrungsmittel, Baustoff, Technologie). Es soll die Verfügbarkeit und Nutzungsmöglichkeiten von industrieller Abwärme untersucht werden. Langfristig soll eine Reduktion des Primärenergieverbrauchs durch eine optimalere Abwärmenutzung resultieren. Zudem sollen Standortvorteile bei einer integralen Wärmenutzung aufgezeigt werden.

R&D 1.1

Funding: BFE

Period: 2009–2012
- ABSCHÄTZUNG VON MASSEN- UND ENERGIEFLÜSSEN IN DER CHEMISCHEN INDUSTRIE**

Lead: ETH Zürich

Contact: Hungerbühler Konrad konrad.hungerbuehler@chem.ethz.ch

Abstract: Ziel dieses Projektes ist die Bestimmung und Vorhersage der Energie- und Materialflüsse in chemischen Produktionsprozessen anhand von prozessbasierten Modellen. Auf diese Weise soll eine verbesserte Energieallokation in Mehrzweck-Produktionsgebäuden möglich werden. Material- und Energieverbrauch einzelner Reaktionen und Teilschritte in der Synthese sollen gezielt bestimmt und wenn möglich auf Betriebsparameter zurückgeführt werden können.

R&D 1.1

Funding: BFE

Period: 2010–2012
- ABWÄRMENUTZUNG MITTELS STATIONÄRER ZEOLITH-SPEICHERANLAGE**

Lead: BSB + Partner

Contact: Kahlert Heinrich Alexander.Kohli@bsb-partner.ch

Abstract: In dieser Machbarkeitsstudie soll zusammen mit den industriellen Werken Basel (IWB) geklärt werden, wie eine stationäre Zeolith-Anlage zur Speicherung thermischer Energie energieeffizient und rentabel für das Holzkraftwerk Basel betrieben werden könnte. Bei vorhandenem Potenzial werden verschiedene Umsetzungsvarianten auf Realisierbarkeit und Kosten geprüft. Für die beste Variante, soll ein Modellversuch entwickelt und evaluiert werden.

R&D 1.1

Funding: BFE

Period: 2011–2012
- ENERGIEEFFIZIENT TROCKNEN DURCH VORPRESSUNG: VISIBILITÄT UND MULTIPLIZIERBARKEIT**

Lead: Meinrad Ruckstuhl

Contact: Meinrad Ruckstuhl radi.ruckstuhl@bluewin.ch

Abstract: Bei der modernen Tierfutterproduktion werden aus unterschiedlich feuchten Eingangsstoffen wie Gras, Mais und Getreide über einen fossil gefeuerten Trocknungsprozess Futterpellets hergestellt. Mittels Vorpressen lassen sich ca. 25% der Energie einsparen. Diesen und weitere technisch-wirtschaftliche Vorteile und Installations- und Betriebserfahrung sollen mittels einer mobilen Anlage an mehreren Standorten potentiellen Anwender 1:1 gezeigt werden.

P&D 1.1

Funding: BFE

Period: 2011–2013
- ENTWÄSSERUNG VON BIOETHANOL FÜR DIE ZUGABE IN BENZIN**

Lead: ZHAW Zürcher Hochschule Winterthur

Contact: Spielmann Thomas spta@zhaw.ch

Abstract: Zur Schonung fossiler Brennstoffe und Reduktion des CO₂-Ausstosses wird Bioethanol dem Benzin bis zu einem Gehalt von 85% zugegeben (E85, erste CH Tanksäule). Beizumischendes Ethanol muss wasserfrei sein. Die Absolutierung von Ethanol kann mittels Membranverfahren (Pervaporation, Celfa AG) oder Molekularsiebe (PSA-pressure swing absorption, Zeochem AG) erfolgen. Beide Methoden sollen mit Pilotanlagen technisch und ökonomisch verglichen werden.

R&D 1.1

Funding: BFE

Period: 2011–2013
- LCA4AFR: ENERGY EFFICIENCY AND SUSTAINABLE REGIONAL MANAGEMENT OF WASTE AND INDUSTRIAL BY-PRODUCTS**

Lead: ETH Zürich

Contact: Stefanie Hellweg hellweg@ifu.baug.ethz.ch

Abstract: A method (IT-tool) is developed to support decision making of authorities, industry, communities and NGOs, for directing wastes and by-products to appropriate treatment and optimal management, i.e. energy demand and GHG emissions. Life cycle assessment LCA including all relevant energy flows and environmental impacts is applied to ensure a holistic analysis and to avoid suboptimization. The usefulness is demonstrated by real-world case studies.

R&D 1.1

Funding: BFE

Period: 2011–2013

● **ENERGIEEFFIZIENZ BEIM SPRITZGIESSEN VON KUNSTSTOFFEN** R&D 1.1

Lead:	HSR Hochschule für Technik Rapperswil	Funding:	BFE
Contact:	Benno Bucher bbucher@hsr.ch	Period:	2012–2013
Abstract:	Der grösste Energieanfall findet beim Kunststoffspritzgiesen beim Aufschmelzen und Abkühlen statt. Da kaum Wärmerückführungen besteht, wird die Energie der Phasenumwandlungen quasi zweimal bezahlt. Es soll das Potenzial der Energieeinsparung eruiert werden. Mit einer Pilotapparatur soll die Rekuperation an einem realen Spritzgiesswerkzeug realisiert und durch Materialmodifikation ein niedrigeres Schmelztemperaturniveau angestrebt werden.		

● **DAMPFSPEICHERFAHRZEUGE - ERSATZ VON ELEKTRO- UND DIESELFahrzeugen AUF WERKAREALEN DURCH DAMPFSPEICHERFAHRZEUGE** R&D 1.1

Lead:	Stiftung Swiss Excellence	Funding:	BFE
Contact:	Willy Frank willy-frank@bluewin.ch	Period:	2012–2013
Abstract:	The potential of steam energy storage technology regarding applications, technology and economy in comparison with existing systems will be investigated. Possible applications are: Shunting locomotives, large-wheeled trucks, fork-lift trucks, ferries. Merits are: Reduction of fossil fuels and emissions, enhanced energy efficiency by waste heat recovery. A pre-study will prepare a "go/no go" decision prior to detailed investigations with tests.		

● **EFFIZIENZSTEIGERUNG ANTRIEBS- UND TRANSPORTRIEMEN** R&D 1.1

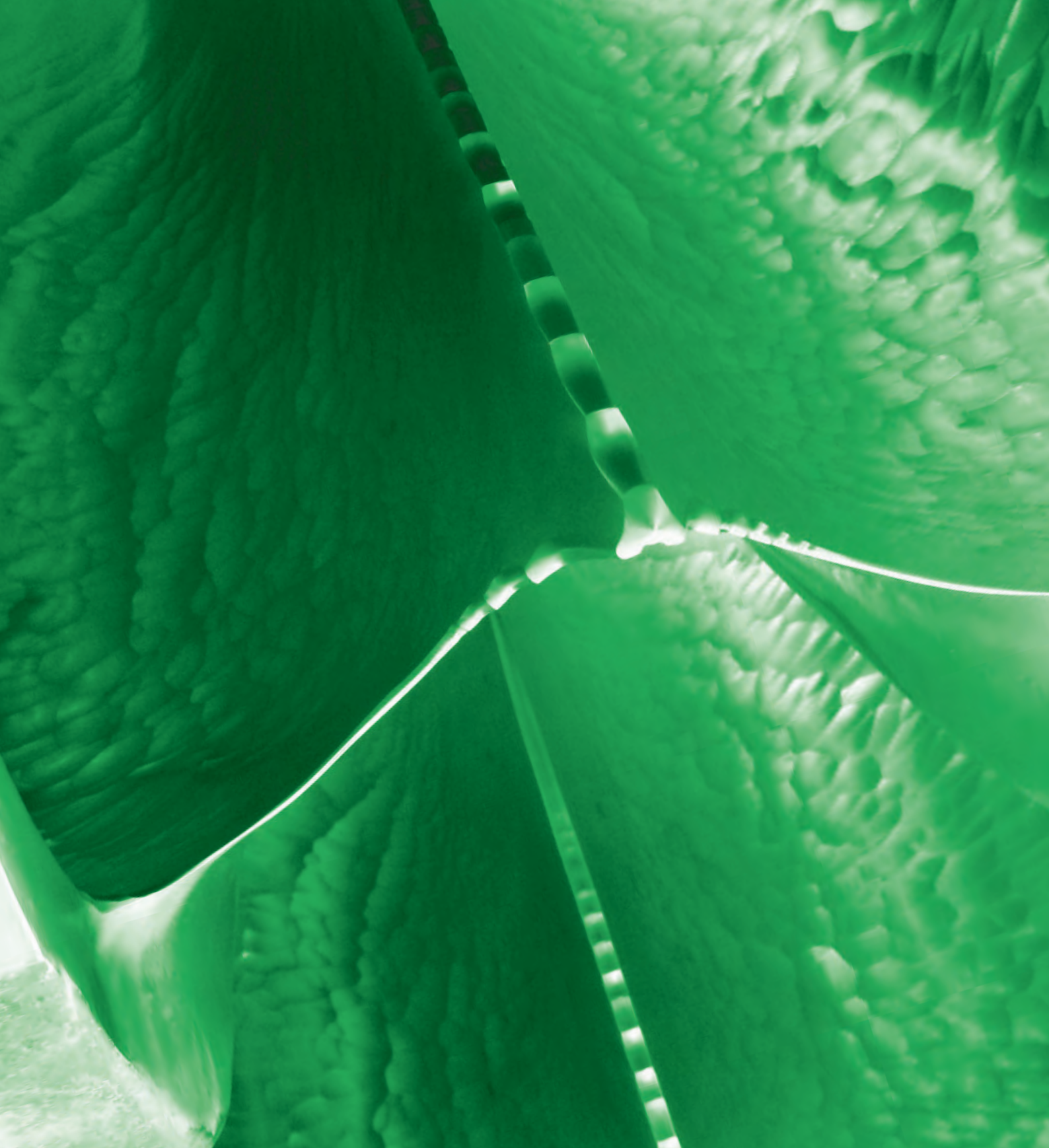
Lead:	HSR Hochschule für Technik Rapperswil	Funding:	BFE
Contact:	Markus Henne mhenne@hsr.ch	Period:	2012–2013
Abstract:	Zur energetischen Verbesserung von Transport- und Antriebssystemen sollen die Riemen (Materialauswahl, Lagenaufbau) optimiert werden. Dazu wird ein Verfahren resp. numerische Berechnungsmethode für eine effiziente (energierelevante) Charakterisierung von Kunststoffen entwickelt. Zudem wird ein Prüfstand zur experimentellen Validierung der Riemen hinsichtlich Energieeffizienz und Ermüdungsverhalten aufgebaut.		

● **THERMOSIPHON FÜR WÄRMERÜCKGEWINNUNG AUS HEISSEN ABGASEN** R&D 1.1

Lead:	HSLU, CC Thermische Energiesysteme & Verfahrenstechnik	Funding:	BFE
Contact:	Mirko Kleingries mirko.kleingries@hslu.ch	Period:	2012–2013
Abstract:	Mittels modularer Thermosiphon-Wärmeüberträger sollen verschmutzte, korrosive und abrasive Abwärmeströme unterschiedlicher Temperaturniveaus nutzbar gemacht werden. Es werden die Grundlagen für die Berechnung, Auslegung und Realisierung erarbeitet sowie die Umsetzbarkeit des Konzepts geprüft. Zudem werden weitere Anwendungsmöglichkeiten gesucht. Die Erkenntnisse werden in einem Workshop interessierten Fachkreisen vermittelt und diskutiert.		

● **KOSTENREDUKTIONSPOTENZIALEN VON WÄRMETAUSCHERN IN ANWENDUNGEN MIT STARKER STAUBBELADUNG** R&D 1.1

Lead:	ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften	Funding:	BFE
Contact:	Walter Siegl siew@zhaw.ch	Period:	2012–2014
Abstract:	Heisse, stark staubbeladene Abgasströme sowie dynamisches Betriebsverhalten stellen hohe Anforderungen an Wärmetauscher, welche z. B. für die Abwärmeverstromung mittels ORC benötigt werden. Mit diesem Projekt sollen die Berechnungsunterlagen für die Wärmetauscher-Auslegung verbessert werden, womit die Kosten gesenkt und die Wirtschaftlichkeit, Attraktivität sowie die Verbreitung von Abwärmenutzungs-Anwendungen z. B. via ORC, erhöht werden können.		

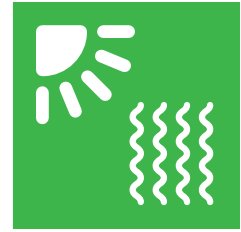


Erneuerbare Energien

Sources d'Énergie Renouvelables

Bild vorherige Seite:

Peltonturbinen werden bei Wasserkraftwerken mit grossen Fallhöhen bei vergleichsweise geringen Wassermengen eingesetzt, dies insbesondere in Pump-Speicherkraftwerken. Problematisch ist der Verschleiss durch Wasser mit einem hohen Anteil an Schwemmpartikeln (Sand), was zu starker Abrasion führt. Dadurch entstehen Kosten und der Betrieb ist während der Arbeiten eingeschränkt. Der Rückgang alpiner Gletscher und die Verlandung der Speicherseen führen tendenziell zu einem Anstieg der Schwebstoffkonzentration im Triebwasser und damit zur Zunahme solcher Schäden. Das Bild zeigt Abrasionserscheinungen eines Peltonlaufrades am Kamm zwischen den beiden Becherhälften sowie in den Bechern selbst. (Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie VAW, 2010).



Jean-Christophe Hadorn

Chaleur solaire et Stockage de chaleur



Test de matériaux de couverture de capteurs solaires

Echantillons de couverture transparente qui seront exposés durant 20 ans au rayonnement solaire. Les échantillons sont en verre et en plastique de différents types et sont mesurés après 1, 3, 5, 10 et 20 ans, en l'état et nettoyés. Un ensemble est placé à Davos en altitude et un à Rapperswil. Les enseignements tirés de la précédente campagne de 20 ans sont très utiles non seulement pour l'industrie solaire mais pour le bâtiment en général qui a recours de plus en plus aux matériaux polymères non sans conséquence sur le vieillissement prématuré des ouvrages [Source: SPF].

Introduction

Le marché solaire thermique suisse a légèrement régressé en 2011 à un niveau de moins de 160'000 m² de capteurs vendus par an. Ceci reste toutefois nettement plus élevé que dans les années précédent 2005.

En 2011 ce sont 140'000 m² de capteurs thermiques qui ont été installés, principalement des capteurs plans vitrés (84 %), des capteurs non vitrés pour piscine (en régression), des absorbeurs sélectifs (1.3 %) et des capteurs sous vide (5 %) [5].

La Suisse a exporté 67'564 m² de capteurs (82 % de capteurs plans, 11 % de capteurs sous vide) et en a importé 69'931 m² dont 86 % de capteurs plans. Il y a eu 15'884 installations réalisées en 2011. Ce sont encore principalement des installations d'eau chaude sanitaire pour la villa (34 % part stable), des systèmes combinés pour la villa (30 % part en augmentation) et d'eau chaude sanitaire pour les immeubles (24 % part en régression), et des systèmes combinés pour les locatifs en légère augmentation (8 % du total contre 6 % en 2010).

Plus de 9'200 installations comprennent moins de 10 m² de capteurs, plus de 3'000 ont entre 11 et 20 m² et le reste, soit environ 10 % (en recul) dépasse 21 m². Il y a eu en 2011 58 installations de plus de 100 m², en nette augmenta-

tion ce qui renforce la tendance vers des installations à plus grande surface de capteurs. Cependant la Suisse reste un pays de petites installations surtout pour l'eau chaude et le chauffage de villas.

La tendance du marché du chauffage en Suisse reste par ailleurs, et principalement dans le neuf, de faire appel à la pompe à chaleur en version air/eau, soit en monovalent soit en combinaison avec du solaire pour l'eau chaude sanitaire, et d'autre part d'installer des systèmes solaires combinés pour la villa avec appoint gaz ou bois, et de moins en moins souvent au mazout. En rénovation, le gaz est souvent choisi si il est disponible.

La recherche internationale en énergie solaire thermique est tournée vers les capteurs hybrides, les combinaisons solaire et pompe à chaleur, la réfrigération solaire thermique, le stockage de chaleur dans le sous-sol à grande échelle, le stockage chimique dense et les matériaux thermochimiques, les réseaux de chaleur à basse température et les grands champs de capteurs solaires, les matériaux plastiques, la prévision du rayonnement solaire à court et moyen terme à partir des données de satellites.

La recherche suisse participe aux thèmes qui sont un enjeu pour nos conditions locales.

Classification de l'AIE : 3.1.1 Solar heating and cooling

Classification Suisse: 2.1.1 Solarwärme

Centres de gravité du programme

Le programme de recherche traite de la chaleur solaire à température comprise entre 0 et 150 °C. Les thèmes principaux en sont: l'amélioration des performances des éléments de la boucle solaire et notamment des capteurs solaires, le développement de couches intelligentes pour les capteurs, une meilleure intégration des capteurs dans les bâtiments, une optimisation des combinaisons solaire couplé à une pompe à chaleur, le stockage dense de chaleur avec de nouveaux matériaux, l'amélioration du stockage en cuve à eau qui reste la solution pour stocker la chaleur solaire largement dominante sur le marché, et la progression des outils de simulation de systèmes.

Revue et évaluation 2012

Les buts suivants ont été atteints en 2012 :

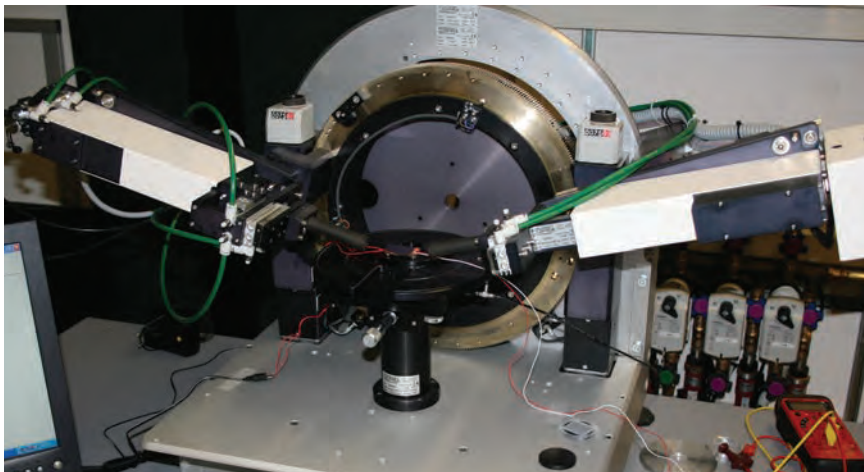
- l'utilisation du banc d'essai dynamique des éléments de connexion entre capteurs solaires, à l'Institut für Solartechnik (SPF) de Rapperswil;
- la caractérisation de la première nanocouche mondiale thermochromique sur support métallique et la mise en évidence de ses propriétés de sélectivité;
- le lancement de la nouvelle Tâche 46 de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) dans le programme « Solar Heating and Cooling » (SHC) sur la prévision du rayonnement solaire par données provenant de satellites météorologiques;
- le travail de conception d'un nouveau type de capteur solaire extra plat;
- le lancement de la nouvelle campagne de mesures sur le long terme des couvertures transparentes;
- les mesures et la modélisation d'une nouvelle cuve de stockage de glace avec échangeur à plaques immergé;
- les premiers rapports de la Tâche 44 « Solar and heat pump systems » de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) dans le programme « Solar Heating and Cooling » et le programme

« Heat pump programme », et notamment l'étude du marché et la définition de toutes les performances standards des combinaisons solaire et pompe à chaleur;

- les mesures sur une installation solaire et pompe à chaleur, et la validation du modèle de simulation qui va permettre d'entreprendre des études paramétriques;
- la publication des travaux du projet international d'intégration architecturale des capteurs solaires dans des éléments de construction (AIE SHC Tâche 41);
- la simulation de la production de gaz non condensables lors de la stagnation dans les circuits solaires et les moyens de réduire les effets de la stagnation;
- les résultats de deux bancs de test de combinaison solaire et pompe à chaleur, l'un à Rapperswil, l'autre à Yverdon;
- la poursuite des tests de capteurs au SPF et le maintien des équipes et des équipements pour les tests;
- les mesures de deux saisons d'un projet pilotes et de démonstration (P&D) avec une combinaison absorbeurs solaires et pompe à chaleur sur une cuve de glace.

Perspectives

En 2013, les résultats de la Tâche 44 (« Solar and heat pump systems ») devraient être disponibles notamment quant aux performances de systèmes mesurés et les recherches d'optimum par simulation. Les combinaisons solaire et pompe à chaleur seront beaucoup mieux connues quant à leur intérêt économique et leurs performances. La stagnation dans un circuit solaire pourra être prédite et ses conséquences limitées par des dispositions ad hoc. La nouvelle Tâche AIE SHC 46 sur l'étude du gisement solaire par satellite aura fourni ses premiers résultats. Les divers projets de stockage d'énergie sous forme de glace auront produit des résultats durant deux saisons. Les travaux sur les couches thermochromiques auront abouti à des résultats très nouveaux nous l'espérons. Un projet P&D de capteur hybride aura livré des résultats et le nouveau « capteur fenêtre » aura été testé. Le programme travaille sur tous les aspects systémiques du domaine du solaire thermique, du composant au système : le gisement solaire, les matériaux nouveaux en captage et stockage, la qualité des capteurs solaires, le comportement de la boucle solaire en conditions réelles, les échangeurs, le stockage, les systèmes solaires en combinaison avec les pompes à chaleur, les outils de simulation des systèmes dans tout climat. Le travail se fait dans deux centres suisses de compétences principaux et en collaboration internationale le plus souvent.



Appareil pour l'analyse des propriétés optiques d'une nouvelle couche thermochromique à propriétés sélectives (Source : LESO EPFL).

Highlights Recherche et Développement

Nouveaux matériaux

Les matériaux métalliques (aluminium, cuivre, acier) sont les matériaux de base des capteurs solaires actuels. Avec un fort développement du solaire thermique et la pression sur les coûts des métaux, il est nécessaire de chercher des solutions alternatives. Le SPF a mené des études sur les matériaux plastiques dans les composants solaires notamment dans les capteurs. Un capteur entièrement extrudé en plastique a été développé et testé avec succès en laboratoire avec la collaboration de la société EMS Chemie. Une couche dite « thermotrope » a été développée pour recouvrir la partie absorbante afin de ne pas exposer le cap-

teur à des températures excessives, ceci pour ne pas avoir à recourir à des polymères coûteux. Le capteur réalisé fait 62,5 cm de large et peut être extrudé sur 10 m de long. Les mesures d'efficacité ont montré que le capteur polymère hydrauliquement bien conçu peut être une alternative crédible au capteur plan classique dans la gamme usuelle de températures de travail (30 à 70 °C). Le coût de production d'un tel capteur pourrait avoisiner les 100 CHF/m² pour un volume de 10'000 pièces par an soit un coût très bas. Les polymères sont aussi une alternative au verre pour la couverture transparente des capteurs. La difficulté est ici la durabilité des plastiques exposés au rayonnement solaire.

Tests de matériaux transparents

Afin de tester la résistance de tout type de matériau transparent à long terme, le SPF a réalisé une campagne de mesures durant 20 ans de 1985 à 2005 riche en enseignements. Les matériaux évoluant, une nouvelle campagne a débuté en 2011. Des échantillons de 10 x 10 cm de 26 nouveaux matériaux transparents (verre et plastique stabilisé aux UV) sont exposés au rayonnement solaire à long terme (20 ans) à Rapperswil et à Davos. Les échantillons sont mesurés (spectre de transmission) en l'état après 1, 3, 5, 10 et 20 ans et en état nettoyé à l'eau douce et au savon.

Depuis 2010 le SPF participe en outre à la Tâche 39 du programme « Solar Heating and Cooling » de l'AIE intitulée « Polymeric materials for solar thermal applications » qui durera jusqu'en fin 2014. Les travaux précédents des groupes internationaux ont abouti à la publication en 2012 chez Wiley-VCH Verlag GmbH d'un livre très complet sur les connaissances actuelles d'usage des polymères dans les installations solaires [3]. Parmi les projets aboutis en 2012, nous remarquerons: la Tâche 41 de l'Agence Internationale de l'Energie intitulée « Solar Energy and Architecture », la recherche de nouveaux matériaux pour les capteurs et la thermohydraulique de la boucle solaire.



Figure 1 : Capteur hybride pour une installation solaire et pompe à chaleur en test sur une maison pilote (Source : 3S).



Figure 2 : L'intégration architecturale des éléments de captage solaire a été le sujet de la Tâche 41 (Source : LESO).

L'intégration architecturale des éléments solaires

La Tâche 41 du programme « Solar Heating and Cooling » (SHC) de l'Agence Internationale de l'Energie (AIE) s'est déroulée de 2009 à 2012 avec le but de rassembler les connaissances en matière d'intégration architecturale des éléments du solaire thermique et photovoltaïque, et d'apporter des compétences aux architectes en matière de composants solaires intégrés ou à intégrer [1, 2].

La Suisse via le Laboratoire d'énergie Solaire (LESO) de l'Ecole polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) avait la direction de la sous-tâche A, dont le but était de promouvoir l'usage de l'énergie solaire active dans le cadre d'une architecture de qualité. Une liste de bons exemples de bâtiments avec une réussite d'intégration d'éléments solaires actifs dans les pays participants, ainsi que de produits solaires innovants a été réalisée et mise sur le site internet de la Tâche. Le site présente en outre sous une forme graphique attractive, les produits solaires remarquables. Une difficulté est toutefois de tenir à jour un tel site sur le long terme (<http://solarintegrationsolutions.org/>).

Trois rapports publiés par la Tâche 41 sont à distinguer (www.iea-shc.org):

- « Review of solar design tools » 19 outils d'aide à la conception sont présentés dans ce document et ont été testés sur le même bâtiment. Trois cas d'études sont en outre présentés.
- « International survey about digital tools used by architects for solar design » 14 pays ont participé à cette enquête de satisfaction des architectes sur les outils de conception solaire qu'ils utilisent.
- « Building integration of solar thermal and photovoltaics : barriers, needs and strategies ». Ce rapport analyse les besoins des architectes en matière d'intégration architecturale de composants solaires. Le LESO a en outre réalisé le rapport final « Criteria and guidelines for product and system developers » dans sa partie

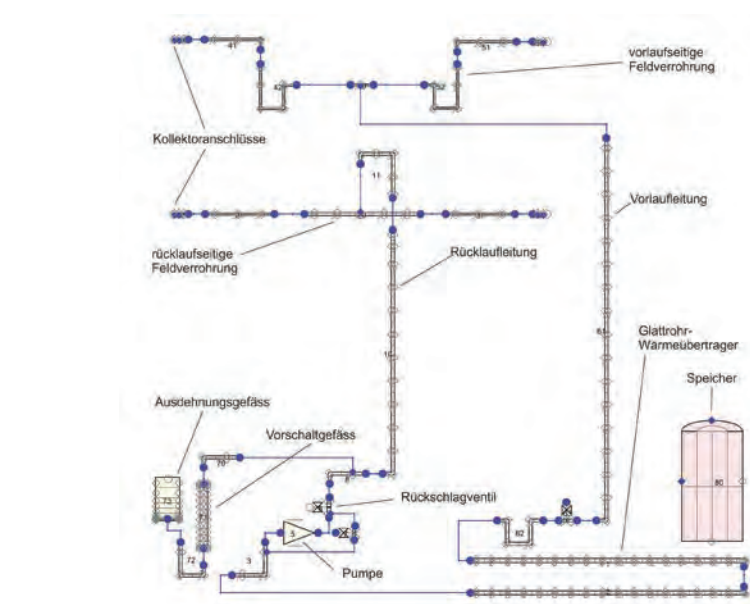


Figure 3 : Modèle pour la simulation des écoulements biphasiques dans une installation solaire entrant en stagnation (Source : Eismann).

dédiée au solaire thermique [2]. A noter également que fort de toute son expérience dans le domaine, le LESO a publié un ouvrage sur l'intégration architecturale des systèmes thermiques solaires [1].

La Tâche 41 s'est aussi interrogée sur le processus de communication entre les clients et les ingénieurs en charge du solaire. Un guide recense les arguments et les faits qui peuvent aider à choisir les solutions solaires.

La période critique d'un projet est le tout début où les choix solaires sont faits ou ne sont pas faits (« early design phase »). Durant cette phase, des outils peuvent aider les clients et les architectes. Un rapport de la Tâche 41 en recense 56, classés en trois catégories : simulation, visualisation, design architectural assisté par ordinateur.

Le LESO a développé une méthode utilisant des résultats de la Tâche 41. La méthode dite « LESO QSV pour Qualité Site Visibilité – acceptabilité urbaine des systèmes solaires actifs » permet de prendre en compte plusieurs critères pour décider de la meilleure implantation de solutions solaires dans des ensembles urbains.

Comprendre la thermodynamique de la boucle solaire

Un circuit solaire thermique peut être soumis à de très fortes températures (plus de 200 °C) lors de pannes de circulateur par exemple. Les conséquences peuvent être dommageables pour tous les composants le long de la boucle solaire et en premier lieu les capteurs eux-mêmes.

Le laboratoire IET-LKE (Labor fuer Kern-energiesysteme) de l'ETHZ, spécialisé dans les écoulements multi-phases, travaille depuis trois ans à la compréhension du phénomène de stagnation et aux moyens de réduire ses effets. Trois axes de recherche ont été couverts :

- le transport des gaz libres dans la boucle solaire : la recherche consiste à comprendre comment purger et dégazer un circuit,
- la simulation des écoulements mono et biphasiques dans la boucle solaire : il s'agit de comprendre comment les gaz dissous se propagent dans le circuit en cas de stagnation ou non,
- une nouvelle méthode de dimensionnement de la boucle solaire.

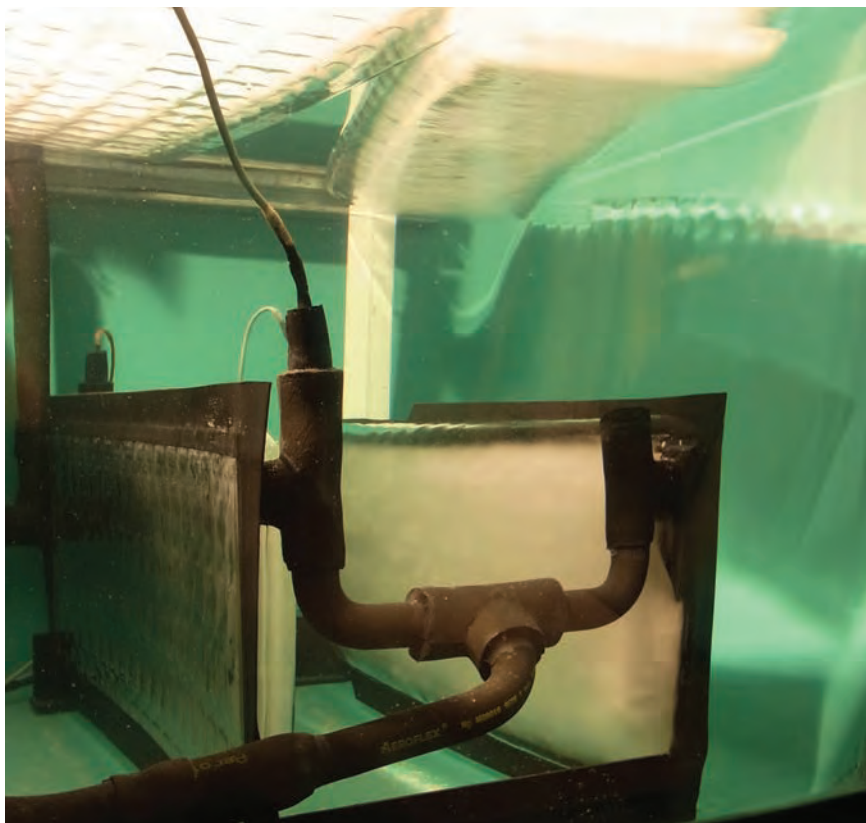


Figure 4 : Stock de glace d'un type nouveau avec échangeur à plaques (Source : SPF).

Une installation solaire de 18,4 m² avec une cuve de 1400 l a été simulée avec un logiciel industriel pour les écoule-

ments en tube (Trace). La nouveauté est de pouvoir simuler le développement de la stagnation en dynamique. La cor-

rélation de Hollands de 1976 décrivant la convection dans un capteur vitré a en outre été élargie par les chercheurs de l'ETHZ. De même, la formulation du coefficient de transfert de chaleur d'un absorbeur a été améliorée spécialement en ce qui concerne les extrémités (effet 2D). Disposant de deux nouvelles corrélations, il est désormais possible de prédire la stagnation et son développement dans le capteur, notamment en calculant la variation du coefficient de pertes du capteur durant la stagnation. La quantité de vapeur produite et son déplacement dans la boucle peuvent désormais être prédits [4]. Le modèle a été validé sur une installation de laboratoire avec pour fluide de l'eau et un mélange eau-glycol, ce qui est une réussite vue la complexité de la simulation à effectuer. En outre l'équipe a imaginé un nouveau dispositif de refroidissement dans la boucle solaire qui permet un dégazage du mélange eau-glycol plus efficace que les purgeurs usuels. Ceci fait l'objet d'un dépôt de brevet. Des connaissances nouvelles ont été établies grâce également à la collaboration avec l'Université de Dresde autour de ce projet. Le projet doit publier en 2013 des règles pratiques notamment pour limiter les gaz non condensables dans un circuit solaire.

Projets Pilotes et de Démonstration

Solaire, glace et pompe à chaleur

Dans le projet « PacSol », l'installation commerciale d'origine a été légèrement modifiée pour permettre le raccordement d'une pompe à chaleur de 6 kW et d'un accumulateur de glace (320 litres), et d'absorbeurs sélectifs non vitrés.

Le coefficient de performance global annuel (« Seasonal Performance Factor » ou SPF) de la première période de mars 2010 à février 2011 correspond à celui d'une pompe à chaleur avec sondes géothermiques (le SPF moyen mesuré sur un nombre important d'installations en Allemagne est de 3,9 selon une étude récente de l'Institut ISE Fraunhofer).

Pour la seconde période de mars 2011 à février 2012, le coefficient SPF est inférieur car des conditions météo extrêmes et un enneigement important ont perturbé l'installation pilote. Il s'est avéré nécessaire de mettre en service la chaudière à bois pendant quelques jours du fait de la neige sur les absorbeurs. Ce problème doit être évalué de manière préventive dans toute installation future de ce type.

La valeur moyenne du SPF sur les deux années de suivi est de 4,3 si on ne tient pas compte de l'appoint de la chaudière à bois, et de 3,3 si celui-ci est comptabilisé comme s'il s'agissait d'un appoint électrique et donc avec un COP de 1,0. Ce résultat est honorable, vu que cette

installation comprend un champ de capteurs mal orienté et peu incliné pour l'hiver (Est +10°, inclinaison 20°). En plus la part de consommation d'eau chaude sanitaire est très faible par rapport à la part d'énergie nécessaire au chauffage, ce qui pénalise le résultat en période estivale, lorsque les capteurs solaires permettent une autonomie totale et que la pompe à chaleur n'est pas sollicitée.

Depuis avril 2011, une seconde installation du même type est en fonction à Savièse, à quelques centaines de mètres de l'installation faisant l'objet de ce premier projet P&D. Dans ce projet dit « Kioto », les capteurs solaires non vitrés y sont inclinés à 50° et orientés plein Sud. Le profil de consommation est totalement



Figure 5 : Capteur fenêtre breveté et testé en simulation avant un pilote (Source : Ing. Telepski).

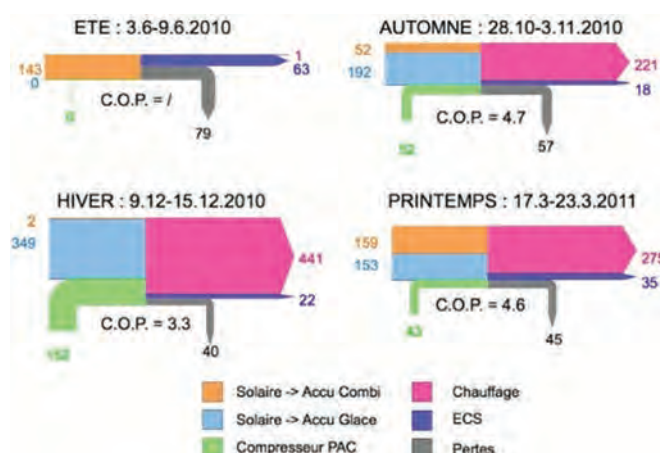


Figure 6 : Bilan d'une installation solaire et pompe à chaleur sur un stock de glace dans le projet PacSol (Source : Energie Solaire SA).

différent. Il s'agit d'une construction neuve Minergie, très passive, et avec une consommation d'eau chaude sanitaire importante. Entre avril 2011 et février 2012, le SPF de cette installation a atteint 4.7, ce qui montre le potentiel de la combinaison solaire et pompe à chaleur pour réduire la demande annuelle en électricité. Toutefois la demande mensuelle voire journalière doit être analysée

en détail pour évaluer tous les bénéfices du solaire comme source la pompe à chaleur en hiver.

Dans une étude comparative des solutions de chauffage de cette villa pilote, on a constaté que l'investissement initial était encore en 2012 le moins élevé dans le cas de la solution avec chaudière à gaz, et que toutes les solutions avec pompe à chaleur sont plus coûteuses

à l'installation. En revanche, la prise en considération des frais d'exploitation indique que la solution combinant Solaire – Pompe à chaleur – Stock de glace deviendrait la plus avantageuse après une douzaine d'années d'exploitation. Cette solution offre donc une alternative attractive aux solutions avec sondes géothermiques lorsque ces dernières ne sont pas autorisées.

Collaboration Nationale

Les tests de capteurs au SPF sont l'occasion d'échange avec toute l'industrie solaire suisse et internationale au gré des tests et des recommandations demandées au SPF par celui qui soumet un capteur à tester. Le centre d'essais de Rapperswil teste plus de 50 capteurs par année pour la recherche, il est important que cette activité soit maintenue car elle permet de rester en phase avec notre programme de recherche destiné aux besoins de l'industrie.

Le SPF a organisé à Rapperswil en 2012 un « jour de l'industrie », durant lequel ont été exposés tous les projets en cours devant plus de cent personnes. Les thèmes abordés sont ceux de notre programme de recherche, des résultats des tests de composants solaires et des projets européens du SPF. Le rapprochement avec les industriels du solaire est efficace lors d'une telle journée. Toutes les présentations sont disponibles pour les participants sur le site du SPF www.solarenergy.ch.

Les sociétés suivantes ont participé à la recherche solaire en collaboration avec des équipes de chercheurs : 3S Swiss Solar Systems, Energie Solaire SA, Elco.

Les travaux d'intégration architecturale des éléments solaires du LESO dans la Tâche 41 ont été partagés avec la « Hochschule Luzern » (HSLU) et la « Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana » (SUPSI) à Canobbio.

La société Meteotest collabore avec l'Université de Genève en matière de prévision de rayonnement solaire. De nouveaux algorithmes sont testés et les résultats intégrés dès que possible dans le logiciel Meteonorm.

Dans le cadre de la Tâche 44, les groupes suisses qui participent coordonnent leurs présentations internationales, ce sont : le SPF, le LESBAT, l'Université de Genève, l'Université de Fribourg, la Fachhochschule Nordwestschweiz, les sociétés 3S (Meyer Burger) et Energie Solaire SA.

L'Institut für Energiesysteme du NTB Buchs collabore avec le bureau d'ingénieurs Telepski, développeur d'un « capteur fenêtre », pour effectuer les simulations prévisionnelles des performances d'un système utilisant ce nouveau capteur fenêtre et une pompe à chaleur.

Le Dr Joly a défendu avec brio sa thèse sur les nanocouches au LESO en 2012, couches qui ont été développées en

collaboration avec les sociétés Swissinso situé au Parc Scientifique de l'EPFL et Energie Solaire SA à Sierre [11]. Il a notamment mis au point un procédé de dépôt de nanocouches en sol-gel et imaginé la stabilisation du dépôt par un nouveau dispositif mobile de calcination par induction, ceci pour des tubes de concentrateur solaire recouverts d'une nanocouche sélective.

Collaboration Internationale

Le SPF participe activement à plusieurs travaux de normalisation européenne et est agréé auprès de l'association « Solar Keymark » dépositaire du label du même nom. Il est en étroite relation avec divers instituts européens pour la mise au point de méthodes ou logiciels ou de tests comparatifs (Institut technique de la chaleur de Graz en Autriche, Institut de thermodynamique de Stuttgart en Allemagne, Centre de recherches solaires de Borlange en Suède, Institut des Energies Renouvelables Intec en Autriche).

La plupart des projets du programme participe à des tâches de l'Agence Internationale de l'Energie dans le programme « Solar Heating and Cooling », les Tâches 36, 39, 41, 42, 44, 46 (www.iea-shc.org). Meteotest et l'Université de Genève sont les représentants dans la nouvelle Tâche AIE SHC 46 sur la prévision du rayonnement solaire sur la planète.

Le SPF participe sur propres fonds aux travaux de la Tâche 39 sur les nouveaux matériaux plastiques pour le solaire. Nous avons 4 laboratoires suisses et 2 sociétés qui participent à la Tâche 44 « Solar and heat pump systems » que nous dirigeons et qui réunit plus de 50 experts de 11 pays différents sur le sujet du solaire couplé avec une pompe à chaleur [10]. En matière de stockage, sur fonds européen, l'Empa fait partie de la Tâche AIE SHC 42, et participe au projet européen COMTES.

Energie Solaire SA a réalisé un projet P&D avec une entreprise allemande et un avec l'entreprise qui développe la gamme « Kioto clean energy ».

Le laboratoire LKE de l'ETHZ collabore avec l'université de Dresde dans la recherche sur les gaz non condensables dans une boucle solaire.

References

- [1] M.-C. Munari Probst, Ch. Roecker, *Architectural Integration and Design of Solar Thermal Systems*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Routledge-PPUR, 2011, ISBN 978-2-940222-46-9.
- [2] M.-C. Munari Probst, Ch. Roecker, *Solar Energy systems in Architecture – Integration Criteria and Guidelines*, Sept. 2012 (<http://task41.iea-shc.org/publications>).
- [3] M. Köhl et al., *Polymeric materials for solar thermal applications*, Wiley-VCH, ISBN 978-3-527-33224-5.
- [4] R. Eismann, H.-M. Prasser, *Thermohydraulische Simulation einer Solaranlage zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung*, 22. Symposium Thermische Solarenergie. Bad Staffelstein, OTTI 2012.
- [5] Swissolar, *Le recensement du marché de l'énergie solaire en 2011*, (juin 2012).
- [6] D. Philippen, M. Y. Haller, W. Logie, M. Thalmann, S. Brunold, E. Frank, *Development of a heat exchanger that can be de-iced for the use in ice stores in solar thermal heat pump systems*, Eurosun 2012, September 18–20, Rijeka and Opatija, Croatia.
- [7] W. Logie, E. Frank, *Indirect charging of Thermal Energy Stores via Immersed Coil Heat Exchangers – A Summary of Experimental and Numerical Investigations*, OTTI 2012, 22. Symposium Thermische Solarenergie – Mai 2012.
- [8] F. Ruesch, E. Frank, *Experimentelle Analyse und Vergleich von Frischwassermodulen*, OTTI 2012, 22. Symposium Thermische Solarenergie – Mai 2012.
- [9] M. Y. Haller, E. Frank, *System-Jahresarbeitszahl grösser 4.0 mit Luft-Wasser Wärmepumpe kombiniert mit Solarwärme*, OTTI 2012, 22. Symposium Thermische Solarenergie – Mai 2012.
- [10] M. Y. Haller, E. Bertram, R. Dott, T. Afjei, F. Ochs, J.-C. Hadorn, *Review of component models for the simulation of combined solar and heat pump heating systems*, SHC 2012, San Francisco July 2012.
- [11] M. Joly, *Développement et optimisation de revêtements minces nanostructurés pour capteurs solaires thermiques et photovoltaïques*, Thèse EPFL 2012.

Projets en cours et terminés dans l'année de référence

(* Classification de l'AIE)

- SOLAR RESOURCE ASSESSMENT AND FORECASTING IEA SHC 46**

Lead: Meteotest / Université de Genève

Contact: Remund Jan jan.remund@meteotest.ch

Abstract: Le programme AIE « Solar heating and cooling » a lancé la Tâche 46 « Solar Resource Assessment and Forecasting » à la suite de la Tâche 36. Il s'agit d'explorer la qualité de la prévision du rayonnement solaire, de développer des procédures normalisables pour traiter les données et la prévision du rayonnement à court terme. Le groupe fait appel aux données satellitaires. Les résultats sont intégrés dès que disponible dans le logiciel suisse Meteonorm.

R&D 3.1.1*

Funding: BFE

Period: 2011-2015

- THERMOCHROMIE: ADVANCED SWITCHABLE SELECTIVE ABSORBER COATINGS FOR OVERHEATING PROTECTION OF SOLAR THERMAL COLLECTORS**

Lead: EPFL/ENAC/LESO-PB

Contact: Schüeller Andreas andreas.schueler@epfl.ch

Abstract: Overheating and the resulting stagnation of solar thermal collectors is a common problem. A promising way to protect solar thermal systems is to produce a selective coating which exhibit a change in optical properties at a critical temperature. This project aims at testing the durability of such new coatings for thermochromic solar collectors.

R&D 3.1.1

Funding: BFE

Period: 2012-2014

- SPF SOLAR TRINKWARMWASSERBEREITSTELLUNG 2009-2011**

Lead: Institut für Solartechnik, SPF

Contact: Frank Elimar Elimar.Frank@solarenergy.ch

Abstract: Die Verwendung von Frischwassermodule (FWM) zur Bereitstellung von Brauchwarmwasser hat in den letzten Jahren stark zugenommen und ein Vergleich der Angebote ist schwierig. In diesem Projekt soll ein Teststand zur genauen Prüfung von FWM entwickelt und eine repräsentative Anzahl marktüblicher Exemplare miteinander verglichen werden.

R&D 3.1.1

Funding: BFE

Period: 2009-2011

- SPF TESTING 2012**

Lead: Institut für Solartechnik, SPF

Contact: Bohren Andreas andreas.bohren@solarenergy.ch

Abstract: Die Messinfrastruktur für die umfassende Beurteilung von solarthermischen Systemen und Komponenten ist vergleichsweise aufwändig. Das SPF-Testing betreibt die notwendigen Einrichtungen auf hohem Niveau und ist damit eines der führenden Labors. Ziel des Projektes ist die Aufrechterhaltung des Prüfbetriebes auf hohem Niveau.

R&D 3.1.1

Funding: BFE

Period: 2012

- SPF APPLIED RESEARCH**

Lead: Institut für Solartechnik, SPF

Contact: Frank Elimar Elimar.Frank@solarenergy.ch

Abstract: Mit diesem Projekt soll die Bearbeitung praktischer Forschungsfragen am SPF ermöglicht und sichergestellt werden. Ergänzend zum applied research ist für die nicht zwingend projektgebundene Kontinuität der internationalen Vernetzung die F&E-bezogene Mitarbeit des SPF in verschiedenen Gremien und working groups sowie die aktive Mitgliedschaft in Verbänden nötig. Hier können die Ergebnisse und Erkenntnisse der SPF regelmässig zielführend eingebracht und verbreitet werden.

R&D 3.1.1

Funding: BFE

Period: 2009-2012

- IEA SHC TASK 41 "SOLAR ENERGY AND ARCHITECTURE"- DIRECTION DE LA SOUS-TÂCHE A "CRITERIA FOR ARCHITECTURAL INTEGRATION"**

Lead: EPFL/ENAC/LESO-PB

Contact: Roecker Christian christian.roecker@epfl.ch

Abstract: Il s'agit d'assurer une participation active à la Tâche 41 de l'AIE « Solar Energy and Architecture », avec direction de la Sous-tâche A « Criteria for architectural integration », l'organisation de la coordination avec des projets d'autres pays, le développement des critères d'intégration du solaire actif, des séminaires pour architectes, industriels et autorités et la publication de manuels pour architectes, industriels et autorités.

R&D 3.1.1

Funding: BFE

Period: 2009-2012

- AQUAPACSOL**

Lead: HEIG-VD / LESBAT

Contact: Citherlet Stéphane Stephane.Citherlet@heig-vd.ch

Abstract: Ce projet vise à développer une installation pour la production d'ECS en couplant des capteurs solaires thermiques sur l'évaporateur d'une PAC qui soit compétitif du point de vue énergétique, financier et environnemental avec des systèmes existants. Un banc d'essai et des simulations sont prévus.

R&D 3.1.1

Funding: BFE

Period: 2009-2013

● **THERMOHYDRAULIK VON SOLARANLAGEN**

R&D 3.1.1

Lead:	Eismann Ing.	Funding:	BFE
Contact:	Eismann Ralph eismann@lke.mavt.ethz.ch	Period:	2010-2013
Abstract:	Das übergeordnete Ziel ist die Erarbeitung eines grundlegenden Verständnisses der instationären Vorgänge in thermischen Solaranlagen mit Einphasen- und Zweiphasenströmungen. Dazu werden Computermodelle entwickelt, mit denen die Vorgänge bei Stagnation, bei Inbetriebnahme und Wartung, im Betrieb und bei Störfällen simuliert werden können.		

● **«FENSTERKOLLEKTOR» 2000-WATT TAUGLICHE KOMPONENTE FÜR RAUMWÄRME/ -KÜHLUNG UND WARMWASSER SOWIE SONNEN-SCHUTZ**

R&D 3.1.1

Lead:	Dipl.-Ing. Jan Telepski	Funding:	BFE
Contact:	Jan Telepski jan@telepski.ch	Period:	2012
Abstract:	Ce projet consiste à simuler les caractéristiques d'un capteur fenêtre et de comprendre sa rentabilité dans une installation avec pompe à chaleur ou non.		

● **PACSOL: CHAUFFAGE PAR POMPE A CHALEUR SOLAIRE AVEC DES CAPTEURS SÉLECTIFS NON VITRÉS ET ACCUMULATEUR A CHANGEMENT DE PHASE**

P&D 3.1.1

Lead:	Energie Solaire SA	Funding:	BFE
Contact:	Bernard Thissen bernard@energie-solaire.com	Period:	2011-2013
Abstract:	Le système Solaera de la société Consolar avec stockage de chaleur en glace a été développé depuis 2004. Ce système couplé à 30 m2 de absorbeurs nonn vitrés sélectifs est testé sur une villa de 230 m2 en Valais. Le but est d'évaluer les performances annuelles du système pompe à chaleur - stock de glace rechargé par le solaire. Le projet participe à la Tâche IEA SHC 44.		

● **BAUGENOSSENSCHAFT SONNENGARTEN IN ZÜRICH**

P&D 3.1.1

Lead:	naef energietechnik	Funding:	BFE
Contact:	René Naef naef@naef-energie.ch	Period:	2011-2013
Abstract:	Wie ist die Einbindung der unverglasten, selektiven Kollektoren in ein System mit Unterstationen und Fernwärme auszurüsten? Wie gross sind die Gewinne der Kondensationswärme bei unverglasten, selektiven Kollektoren bei der geplanten Anwendung?		

● **NIEDERTEMPERATUR- PV/T-KOLLEKTOREN MIT EINBINDUNG IN DIE GEBÄUDETECHNIK MIT WÄRMEPUMPE UND ERDSOÑDE: HAUS HALTER UND HAUS SCHAUB**

P&D 3.1.1

Lead:	3S Swiss Solar Systems AG	Funding:	BFE
Contact:	Marc Bätschmann Marc.baetschmann@3s-pv.ch	Period:	2012-2015
Abstract:	Mit den zwei Pilotanlagen soll gezeigt werden, dass sich die Hybridisierung der Photovoltaik lohnt, insb. dass Energieeinsparung und photovoltaischer Mehrertrag den finanziellen und energetischen Zusatzaufwand (graue Energie) rechtfertigen. Die JAZ des Gesamtsystems wird anhand von Anlagen im Betrieb ermittelt oder mit Hilfe von Simulationen berechnet		

● **FUNKTIONS-CHECK SONNENKOLLEKTORANLAGEN**

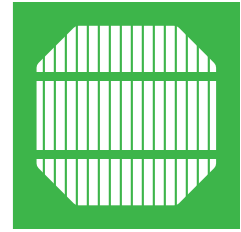
P&D 3.1.1

Lead:	Egon AG	Funding:	BFE
Contact:	Sandra Stettler Sandra.stettler@egonline.ch	Period:	2012-2013
Abstract:	In diesem P&D Projekt wird anhand von 10 bestehenden Sonnenkollektoranlagen die Eignung und Zweckmässigkeit eines Webbasierten Funktions-Checks überprüft.		

● **BOOSTER SOLAIRE ET ABSORBEURS NON VITRÉS ESSA**

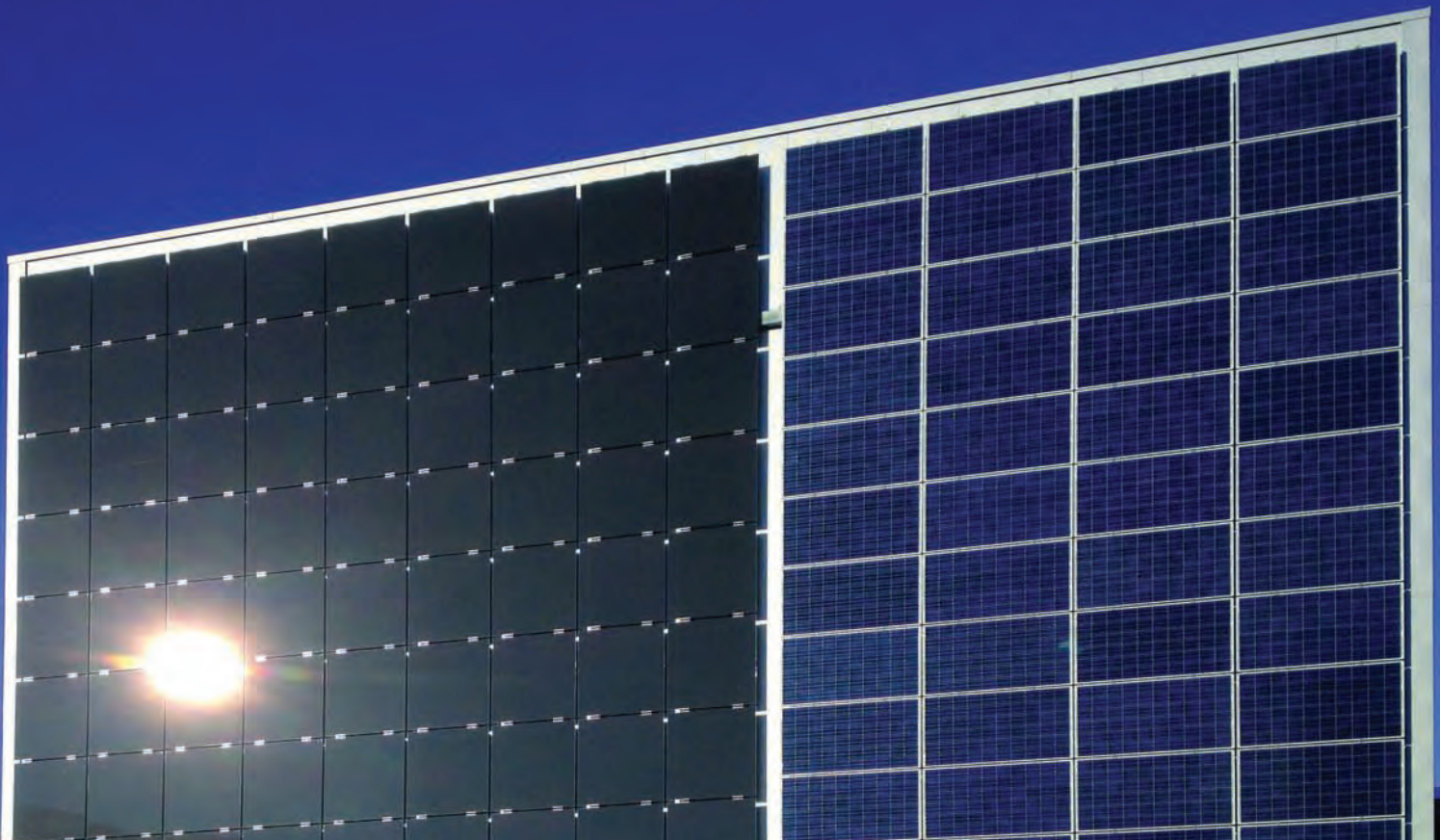
P&D 3.1.1

Lead:	Energie Solaire SA	Funding:	BFE
Contact:	Bernard Thissen bernard@energie-solaire.com	Period:	2012-2014
Abstract:	Ce projet P&D est un test de terrain d'un système de production de chaleur compact et innovant, composé d'une pompe à chaleur utilisant des absorbeurs sélectifs non vitrés comme source de chaleur directe et indirecte et un stock de glace.		



Stefan Nowak

Photovoltaik



Neue und konventionelle Photovoltaik-Technologien an einer Gebäudefassade

Mikromorphe Dünnschicht (10,8 kW, links) und multikristalline (11,3 kW, rechts) Photovoltaik-Module bilden eine Fassadenanlage bei der Firma Lippuner in Grabs (SG). Die Unterkonstruktion inkl. Glashalterung für eine schraubenlose Modulmontage wurde von der Firma Jansen entwickelt, Module von Schüco, Lieferant des Gesamtsystems ist ebenfalls Jansen, Oberriet (Bildquelle: Jansen).

Einleitung

Die Photovoltaik erfährt in der aktuellen nationalen und internationalen Energie-debatte eine immer grössere Beachtung. Dabei wird diese sehr dynamische Energietechnologie sowohl aus wissenschaftlich-technischer Sicht, als auch industriell und marktbezogen viel diskutiert. Vor dem Hintergrund einer rasch wachsenden, global orientierten Industrie findet weltweit eine intensive Forschung statt, welche als Hauptziel eine weitere Kostenreduktion und die rasche Industrialisierung der Photovoltaik verfolgt. In den technologisch besonders wichtigen Ländern wie Deutschland, Japan und den USA werden die Photovoltaikforschung intensiviert und ambitionierte Ziele formuliert [1, 2]. Ähnlich ist Europa mit der Solar Europe Industry Initiative bestrebt, weiterhin eine führende Rolle auf diesem Gebiet zu spielen. Parallel dazu findet marktseitig eine weiterhin rasante Kostenreduktion statt, welche einerseits die Wettbewerbsfähigkeit der Photovoltaik mit anderen Energieformen laufend erhöht, andererseits innerhalb der Photovoltaikindustrie zu einem stark verschärften Wettbewerb führt.

In der Forschung geht es um die anhaltende Weiterentwicklung der bestehenden Photovoltaik-Technologien sowie die Entwicklung neuer Materialoptionen und Konzepte. Nebst dem Kerngebiet der verschiedenen Solarzellen-Technologien beinhaltet die Photovoltaikforschung auch technologiespezifische Themen auf der Systemebene, z. B. der Gebäudeintegration, der elektrischen Systemtechnik oder der Umweltindikatoren und des Recyclings. Mit der derzeit anhaltenden Kostenreduktion bilden System-übergreifende Aspekte wie die

Netzintegration, die Speicherung oder energetische Konzepte im Gebäude immer wichtigere Themen der Forschung. Neue Erkenntnisse und Resultate aus der Forschung werden möglichst rasch in die Industrie übergeführt.

Die Photovoltaik als möglicher wesentlicher Pfeiler einer nachhaltigen Stromversorgung hat in relevanten Szenarien inzwischen ihren festen Platz: Die im Jahr 2010 publizierte Photovoltaik-Roadmap der Internationalen Energieagentur IEA [3] spricht bis 2050 von einem möglichen Beitrag von mehr als 10 % zur weltweiten Stromversorgung. In aktuellen Schweizer Energieszenarien wird von der Photovoltaik bis 2050 ein Beitrag von mindestens 10 TWh Elektrizität als möglich erachtet [4]. Zunehmend verlagert sich die Diskussion angesichts der raschen Kostendegression auf die Frage, wie rasch die Photovoltaik ihren Beitrag leisten kann und soll.

In den letzten 25 Jahren hat sich eine starke Schweizer Position in verschiedenen Gebieten der Photovoltaikforschung herausgebildet: Im Vordergrund stehen die Entwicklungen von verschiedenen Dünnschicht-Technologien, welche schon immer den Schwerpunkt der Schweizer Photovoltaikforschung bildeten. Ausgehend von Arbeiten an neuen Solarzellen-Konzepten wurden diese sukzessiv in die industrielle Umsetzung übergeführt. Heute findet neben der Forschung an Instituten und Hochschulen auch seitens der Industrie eine intensive Technologieentwicklung statt, welche mittlerweile zu einer entlang der ganzen Wertschöpfungskette der Photovoltaik bedeutenden Schweizer Industrie geführt hat. Dabei bleibt auch die

Schweizer Photovoltaik Industrie vom intensiven weltweiten Wettbewerb nicht verschont.

Laufende Aktivitäten in Forschung und Entwicklung sowie Projekte im Bereich von Pilot- und Demonstrationsanlagen umfassen im Berichtsjahr 2011 rund 70 Projekte, wobei alle der Programmleitung bekannten Projekte mit einer Förderung der öffentlichen Hand berücksichtigt sind. Nebst den durch das Bundesamt für Energie (BFE) geförderten Projekten und den Schwerpunkten einzelner Hochschulen und Forschungsinstitute spielen Projekte mit Unterstützung der Kommission für Technologie und Innovation (KTI) sowie zahlreiche EU-Projekte im Forschungsprogramm *Photovoltaik* des BFE eine tragende Rolle.

Das Forschungsprogramm *Photovoltaik* des BFE verfolgte in der Periode 2008–2012 die folgenden Ziele [5, 6]:

- Senkung der Kosten der Solarzellen und -module;
- Steigerung des Wirkungsgrades (Solarzellen);
- Senkung des Material- und Energieeinsatzes;
- Vereinfachung und Standardisierung der elektrischen Systemtechnik; Steigerung der Lebensdauer und Zuverlässigkeit von Wechselrichtern;
- Erhöhung der Verfügbarkeit und der Vielfalt industrieller Produkte.

IEA Klassifikation: 3.1.2 Photovoltaics

Schweizer Klassifikation: 2.1.2 Photovoltaik

Programmschwerpunkte

Das Forschungsprogramm *Photovoltaik* ist in folgende fünf Bereiche aufgeteilt (die in Klammern angegebene Klassifizierung bezieht sich auf die Liste der Projekte, Seite 126 ff.):

Solarzellen (1a-e):

Verschiedene materialspezifische Ansätze zu Dünnschichtsolarzellen stellen hier den wichtigsten Schwerpunkt dar (Silizium, Verbindungshalbleiter, organische Materialien). Verstärkt werden Hoch-effizienz-Zellen mit Heteroübergängen zwischen Dünnschicht- und kristallinem Silizium vorangetrieben. Organische und Polymersolarzellen als mögliche langfristige Technologieoptionen gewinnen an Bedeutung. Ausserdem werden in der Grundlagenforschung fortgeschrittene Konzepte mit Photonen-Management erforscht.

Module und Gebäudeintegration (2a-e):

Das Gebiet der Solarmodule ist im Forschungsprogramm *Photovoltaik* eng mit der Anwendung der Gebäudeintegration verbunden. Im Vordergrund stehen Modultechnologien, welche mit den in der Schweiz entwickelten Solarzellen einhergehen.

Elektrische Systemtechnik (3):

Bei der elektrischen Systemtechnik steht die Qualitätssicherung von Modulen und Wechselrichtern im Vordergrund, einschliesslich entsprechender Normen. Ein in Zukunft wichtiger werdendes Thema ist die Wechselwirkung mit dem elektrischen Netz und die Integration der Photovoltaik ins Netz.

Begleitende Themen (4):

Zum einen geht es hier um relevante technische und nicht technische Themen zur Marktentwicklung (z. B. Hilfsinstrumente, Monitoring, Umweltaspekte). Andererseits sind hier auch auf andere Energiethemen übergreifende Projekte (z. B. Gebäude, Mobilität, Speicherung) angesiedelt.

Institutionelle internationale Zusammenarbeit (5):

Sie erfolgt einerseits projektbezogen auf allen Gebieten und andererseits im Rahmen des Implementing Agreements Photovoltaic Power System Programme (PVPS) der Internationalen Energieagentur (IEA), der Europäischen Photovoltaik-Technologieplattform, der europäischen PV-ERA-Net-Kooperation (ERA: European Research Area), der neuen Solar Europe Industry Initiative (SEII) im Rahmen des SET-Plans und der Normen festlegenden Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC).

Rückblick und Bewertung 2012

Gemessen an der Anzahl laufender Projekte mit öffentlicher Finanzierung und der gesamthaft gemeldeten Forschungsprojekte [7] kann eine anhaltende Verstärkung der Forschungsaktivitäten beobachtet werden. Diese Erhöhung ist in erster Linie auf Erfolge mit KTI- und EU-Projekten zurückzuführen. Die zur spezifischen Förderung der Photovoltaik verfügbaren Forschungsmittel des BFE sind im Jahr 2012 beschränkt aber konstant geblieben, nachdem sie in den letzten 10 Jahren kontinuierlich reduziert werden mussten. Die Mittel für Pilot- und Demonstrationsprojekte konnten leicht erhöht werden mit Aussicht auf einen deutlichen Anstieg 2013, wobei hier keine für die Photovoltaik spezifischen Mittel reserviert sind. Inhaltlich sind programmübergreifend drei wesentliche Trends zu erkennen, i) die verstärkte Fokussierung auf kurz- und mittelfristig relevante Fragestellungen der Industrie (anhaltende Kostensenkung und Effizienzsteigerung), ii) die wachsende Bedeutung von systemrelevanten Aspekten (z. B. Gebäude- und Netzintegration) sowie iii) langfristige Optionen in der Grundlagenforschung. Für die Photovoltaikindustrie hat der Wettbewerb im letzten Jahr weiter zugenommen und eine ausgeprägte weltweite Konsolidie-

rungsphase mit zahlreichen Insolvenzen eingeleitet. Dennoch zeichnet sich gleichzeitig ab, dass die technologische und industrielle Entwicklung rasch weiter geht und international eine Beschleunigung von Forschung und Innovation stattfindet.

Ausblick

Die Herausforderung der Schweizer Photovoltaikforschung und -industrie für die kommenden Jahre liegt darin, international an vorderster Front mithalten zu können. In der Schweiz zeichnet sich ab 2013 im Rahmen des Aktionsplans Koordinierte Energieforschung insgesamt eine Verbesserung der Situation ab, indem die Mittel für Forschung wie für P&D-Projekte generell zunehmen werden. Es gilt, diesen Zeitraum optimal zu nutzen, um die Photovoltaikforschung als innovative Kompetenz-Grundlage der Schweizer Photovoltaikindustrie zu positionieren und in dieser Hinsicht weiter zu verstärken. Optimal wird dies mittels einer Stärkung der Forschung und der institutionellen Kapazitäten zur raschen Umsetzung von Forschung in die Industrie erreicht. Das im Jahr 2013 konkret werdende Photovoltaik-Kompetenzzentrum am Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique (CSEM) soll hier wesentliche Beiträge leisten.

Highlights aus Forschung und Entwicklung

Seit vielen Jahren setzt sich das Forschungsprogramm *Photovoltaik* zum Ziel, zu den einzelnen Teilbereichen Kompetenzzentren mit nationaler und internationaler Ausstrahlung zu fördern. Im Jahr 2012 sind dies das Photovoltaik-Labor (PV-Lab) an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Lausanne (EPFL) in Neuchâtel (Silizium-Dünnschicht-Solarzellen), das Institut of chemical sciences and engineering (ISIC) an der EPFL in Lausanne (Farbstoff-Solarzellen), die Empa in Dübendorf (Verbindungshalbleiter- und organische Solarzellen), die Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana (SUPSI) in Lugano (Solarmodule und Gebäudeintegration) und die Berner Fachhochschule Technik und Informatik (HTI) in Burgdorf (elektrische Systemtechnik).

Forschung und Entwicklung auf kristallinen Solarzellen ist in der Schweiz weitgehend Sache der Industrie. Ein Grossteil der öffentlichen Photovoltaikforschung befasst sich mit neuen Solarzellen auf der Grundlage von Dünnschicht-Technologien. Die wesentlichen Technologieansätze betreffen Dünnschicht-Silizium (zur Hauptsache am PV-Lab der EPFL) sowie Dünnschicht-Verbindungshalbleiter CIGS und CdTe (Empa). Die rasche Kostenreduktion bei den kristallinen Solarzellen zwingt die Vertreter der Dünnschicht-Technologien, ihre Konzepte kosten- und effizienzmassig noch schneller weiter zu entwickeln. Dabei gewinnt auch das Konzept der hocheffizienten Solarzellen mit Heteroübergängen zwischen amorphen und kristallinen Zellen rasch an Bedeutung.

Fortgeschrittene Solarzellenforschung bedeutet immer mehr auch Materialforschung mit neusten Ansätzen, neuen Materialkombinationen und neuen Prozessen. Dabei spielen feinste Schichten und Strukturen im Nanometerbereich eine zunehmende Rolle. Nebst den etablierten Photovoltaik-Kompetenzzentren befassen sich weitere akademische Institute an Universitäten und Fachhochschulen vermehrt mit Fragestellungen im Zusammenhang mit der Photovoltaik.

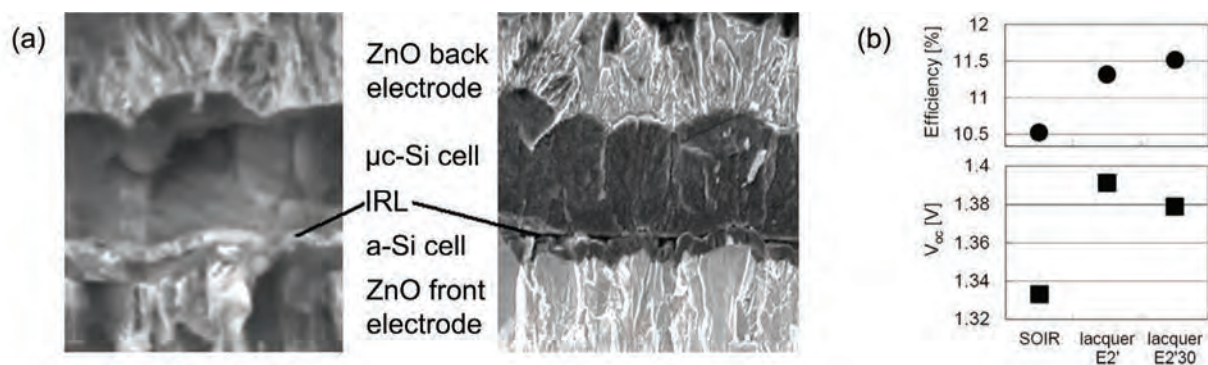
Die Qualitätssicherung hat seit vielen Jahren ihren festen Stellenwert in der Photovoltaik-Forschungslandschaft. Die Prüfung von Solarmodulen und deren Verhalten bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen ist die Kernkompetenz des Istituto sostenibilità applicato all'ambiente costruito (ISAAC) an der SUPSI. Komplementär dazu wird an der Fachhochschule HTI in Burgdorf das Verhalten von Wechselrichtern und Systemen untersucht. Beide Institute betreiben Prüflabors, in welchen Solarmodule oder Wechselrichter gemäss gängigen Normen geprüft werden können.

Dünnschicht Silizium und CIGS – mit neuen Konzepten zu höchsten Wirkungsgraden

Das PV-Lab an der EPFL in Neuchâtel bearbeitet in einer Anzahl von eng verwandten Projekten aktuelle Fragestellungen zur weiteren Entwicklung von Silizium-Dünnschicht-Solarzellen auf ver-

schiedenen Substraten. Zur Optimierung dieser Solarzellen in ihren verschiedenen Ausprägungen stehen zahlreiche Parameter zur Verfügung. Neben Material, Art, Anzahl und Umfang der aktiven Schichten, welche zur Hauptsache aus amorphem und mikrokristallinem Silizium bestehen, spielen Dotierung, Fenster- und Zwischenschichten, Art der Deposition, Struktur, usw. wichtige Rollen. Ziel der laufenden Optimierung und neuer Ansätze ist es letztlich, den Wirkungsgrad der Solarzellen zu erhöhen. Durch Simulation und systematische sowie kontrollierte Variation der experimentellen Parameter wird das Verständnis der in der Solarzelle stattfindenden Prozesse gefördert, was einen wesentlichen Schlüssel zur weiteren Entwicklung darstellt. Eine wachsende Rolle spielen kontrollierte Strukturen und Zwischenschichten im Nanometerbereich. An diesen Zwischenschichten wird die Lichtabsorption optimiert, sodass möglichst viele Photonen in Ladungsträger umgewandelt werden. Durch eine bessere Materialqualität kann sodann sichergestellt werden, dass möglichst wenige dieser Ladungsträger wieder rekombinieren und für die Energieumwandlung weiter zur Verfügung stehen. Entsprechend komplex ist der Weg zu verbesserten Solarzeleigenschaften, welche auch noch den Anforderungen an grossflächige industrielle Prozesse gerecht werden müssen.

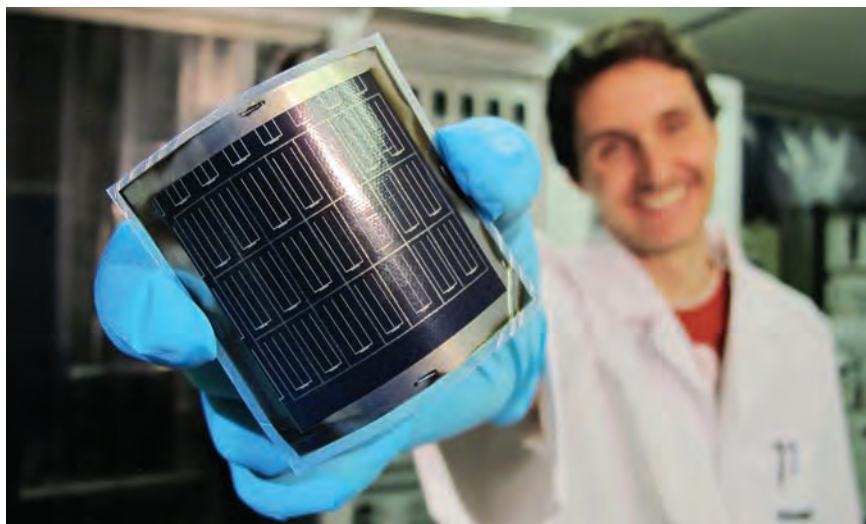
Die Übertragbarkeit der Forschungsergebnisse auf den industriellen Massstab sowie industrielle Prozesse bildet eine zentrale Aufgabe, bei welcher eine



Figur 1: (a) Elektronenmikroskopischer Querschnitt durch eine mikromorphe Solarzelle mit einer glättenden Zwischenreflektorschicht durch Spray-Deposition von Zn-Acetat (links, grau) und Spin-coating und Ätzen (rechts, schwarz). (b) Wirkungsgrad und V_{oc} von mikromorphen Zellen mit einer glättenden SiO_x Zwischenreflektorschicht oder einer Zwischenreflektorschicht durch Ätzen (Bildquelle: PV-Lab, EPFL).

zunehmende Anzahl von Industrieunternehmen mit dem PV-Lab zusammenarbeitet. Damit wachsen auch die Anforderungen an eine leistungsfähige Labor-Infrastruktur, welche in der Lage sein muss, rasch reproduzierbare Resultate zu liefern. Ab 2013 wird hierzu am CSEM mit massgeblicher Unterstützung des Bundes ein industrieorientiertes Photovoltaik-Kompetenzzentrum aufgebaut. Es wird erwartet, dass die industrieorientierte Forschung dadurch nachhaltig gestärkt werden kann.

Im Berichtsjahr begann am PV-Lab mit Unterstützung des BFE eine neue Projektphase, welche sich den Kernthemen und Lösungsansätzen des PV-Lab zu Silizium-Dünnschichtsolarzellen und -modulen widmet. Das Projekt ist in sechs komplementäre Aufgabenbereiche strukturiert (Einfluss der Plasmaeigenschaften auf die Siliziumschichten, neue Materialien und Schichten, Lichtfang, Mehrfachübergänge, Zuverlässigkeit und Charakterisierung sowie allgemeine Infrastruktur). Im ersten Projektjahr konzentrierten sich die Arbeiten auf fundamentale Aspekte der Technologie. Dabei wurde zum einen das analytische Verständnis des Mechanismus des Lichteinfangs durch Fensterschichten verbessert, zum anderen Wege zu besseren Materialeigenschaften von amorphem und mikrokristallinem Silizium erforscht. Daraus resultierten amorphe Schichten mit reduzierter Lichtdegradation und mikrokristalline Schichten mit höherer Klemmenspannung Voc. Mit glättenden Zwischenschichten konnte die Kopplung zwischen den einzelnen Sub-Zellen verbessert werden. Durch die Kombination der verschiedenen Ansätze wird erwartet, den Wirkungsgrad der Silizium-Dünnschichtmodule auf über 12 % erhöhen zu können (Figur 1). In insgesamt vier EU-Projekten (PEPPER, N2P, SILICON_LIGHT und FAST TRACK) werden diese Ansätze am PV-Lab auch praxisorientiert weiter vertieft. Es zeigt sich hier ebenfalls, dass durch gezielte Verbesserung der Materialeigenschaften und Prozesse, z. B. Reduktion der Defektzonen im mikrokristallinen Silizium hervorgerufen durch schlechte Front-Kontakte, bessere Wirkungsgrade erzielt werden können.



Figur 2: Hocheffiziente flexible CIGS Solarzellen auf Polyimidfolie entwickelt mit einem neuen Prozess erreichen einen neuen Weltrekord-Wirkungsgrad von 20,4 % (Bildquelle: Empa).

Das Konzept von Hocheffizienz-Solarzellen mit einem Heteroübergang zwischen verschiedenen Schichten aus kristallinem und amorphem bzw. mikrokristallinem Silizium gewinnt unter dem aktuellen Kostendruck durch die marktübliche kristalline Technologie rasch an Bedeutung. Im EU-Projekt 20PLUS erreichte das PV-Lab hierzu einen Wirkungsgrad von 21,4 % auf p-Typ Wafern, bzw. 22,1 % auf n-Typ Wafern.

Wesentliche Industriekooperationen des PV-Lab erfolgen mit TEL-Solar (der früheren Oerlikon Solar), Meyer Burger, Roth & Rau sowie mit verschiedenen weiteren in- und ausländischen Unternehmen.

Die derzeit wichtigsten Vertreter der Verbindungshalbleiter-Solarzellen sind CIGS und CdTe. Letztgenannte Technologie hat sich in den vergangenen Jahren als weltweit führende Dünnschichttechnologie etabliert mit einer Produktion im GW-Massstab (First Solar) und ist der Referenzwert für die Wettbewerbsfähigkeit von Dünnschicht-Solarzellen. CIGS-Solarzellen werden erst in kleinerem Umfang produziert, bergen aber ein grosses Effizienzpotenzial. Nebst diesen Hauptvertretern der Verbindungshalbleiter-Solarzellen werden weltweit neue Materialvarianten erforscht, insbesondere in der Materialklasse der Kesteriten.

In der Schweiz hat sich auf diesem Gebiet das Labor für Dünne Schichten und Photovoltaik an der Empa als leistungsfähige Forschungseinheit etabliert. Das Labor

arbeitet im Rahmen von BFE-, EU-, KTI- und weiteren Projekten an unterschiedlichen Fragestellungen zu CIGS-Solarzellen. Dabei interessieren auch bei dieser Technologie die Materialeigenschaften, Depositionsprozesse und -temperaturen (sowohl unter Vakuum, als auch bei Atmosphärendruck), die notwendigen Pufferschichten und die Substratwahl. Von besonderem Interesse sind flexible Solarzellen auf Kunststoffsubstraten. Hier erfolgt eine intensive Zusammenarbeit mit dem Empa-Spin-off-Unternehmen FLISOM. Im Berichtsjahr erzielte das Team an der Empa einen weiteren Erfolg: Beim jüngsten Rekord gelang es den Forschern, die Eigenschaften der Licht absorbierenden CIGS-Schicht, die bei reduzierten Prozesstemperaturen aufgetragen wird, weiter zu optimieren. Der Rekord-Wirkungsgrad einer CIGS-Solarzelle auf Kunststoff von 20,4 % wurde vom Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg (Deutschland) verifiziert – und übersteigt damit den Rekordwert von 20,3 % für CIGS-Solarzellen auf Glas (Figur 2). Gegenüber dem letztjährigen Empa-Rekord für flexible CIGS-Solarzellen von 18,7 % stellt dies eine markante Steigerung dar. Damit entspricht der Wirkungsgrad von CIGS-Dünnschichtsolarzellen nun sogar demjenigen von multikristallinen Siliziumzellen.

Ein neues, vom BFE unterstütztes Projekt an der Empa befasst sich mit dem Aufbau einer pilotmässigen Anlage zur



Figur 3: Outdoor Messstand mit 11 verschiedenen Dünnschicht PV-Modulen und 2 kristallinen Silizium-Modulen zur Vergleichsmessung (Bildquelle: ISAAC SUPSI).

mehrstufigen Abscheidung von CIGS-Solarzellen auf Kunststofffolien in einem roll-to-roll Prozess. Damit soll die Übertragung der im Labor erzielten Forschungsergebnisse auf industriennahe Verhältnisse erreicht werden. Im Berichtsjahr standen Konzept und Design der Anlage im Vordergrund.

In verschiedenen EU-Projekten (HIPO-CIGS, NOVA-CIGS, R2R-CIGS und dem neuen Grossprojekt SCALENANO) verfolgt die Empa-Gruppe ihre Projektaktivitäten auch international erfolgreich weiter.

Dünnschichtmodule – Resultate aus praxisnahen Messungen

Während für kristalline Silizium Solarmodule langjährige Erfahrungen und Resultate in der Charakterisierung und normierten Messung vorliegen, bestehen für Dünnschichtmodule immer noch grössere methodische Ungenauigkeiten, welche auch mit dem komplexen und unterschiedlichen Aufbau dieser Module

(z. B. verschiedene Materialien, unterschiedliche spektrale Empfindlichkeiten, mehrere Schichten, usw.) zusammen hängen. Dies bedingt bei der Messung dieser Module häufig eine Vorkonditionierung, um zu besser vergleichbaren Resultaten zu gelangen.

Am ISAAC der SUPSI wird in einem neuen, vom BFE unterstützten Projekt die Methodik zur Messung von Dünnschichtmodulen verfeinert. Im Berichtsjahr wurden dazu die Messstände sowohl im Labor wie für die Aussenmessung um Geräte zur Berücksichtigung der spektralen Empfindlichkeit von mehrschichtigen Dünnschichtmodulen ergänzt. Aufgrund des Farbspektrums des verwendeten Solarsimulators kann durch Vergleichsmessungen die geeignete Referenzzelle für ein bestimmtes Solarmodul bestimmt werden. Auf dem Aussenprüfstand (Figur 3) wurden Messungen an 11 verschiedenen Dünnschichtmodulen durchgeführt (a-Si, 2 a-Si/a-Si, 4 a-Si/ μ c-Si, 1 CdTe, 1 CIS, 1 CIGS und 1 CIGSS). Die ersten Resultate zeigen eine grosse Bandbreite der normierten STC-Leistung (Standard Test Conditions) bzw. der Anfangsdegradation.

Nebst der Leistung wird auch die spezifische Energieproduktion (in kWh/kWp) der verschiedenen Technologien erfasst. Diese hängt naturgemäss ausgeprägt vom gewählten Referenzwert der STC-Leistung ab. Um zu besseren Aussagen zu gelangen, wurden im Berichtsjahr Arbeiten zur spektralen Modellierung für die unterschiedlichen Modultechnologien durchgeführt. Diese zeigen auf, wie gross die spektralen Effekte für die einzelnen Technologien sind und führen zu deutlich besseren Genauigkeiten der Vorhersage.

Zusammen mit weiteren Testmethoden (z. B. Defektanalysen durch Elektrolumineszenzmessungen), der Teilnahme am DURSOL CCEM-Projekt zur Erforschung der Dauerhaftigkeit von Dünnschichttechnologien und dem akkreditierten Swiss PV Module Test Centre bestehen am ISAAC der SUPSI umfangreiche Erfahrungen und Infrastruktur zur Messung von Photovoltaik Modulen. Das ISAAC konnte im Berichtsjahr in einem Festakt 30 Jahre Forschung an Photovoltaikmodulen feiern und seine frühe Pionierrolle auf diesem Gebiet erfolgreich demonstrieren.

Pilot- und Demonstrationsprojekte

P&D-Projekte können sowohl Prozesse, Produkte als auch Anlagen umfassen. Im Bereich der P&D-Anwendungen stehen als Schwerpunkt neue Ansätze im Bereich der Photovoltaik Gebäudeintegration im Vordergrund. Typische Themen sind hier der Unterbau und das Montagesystem,

der Aufbau des Solarmoduls, ein hoher Integrationsgrad oder Zusatzfunktionen am Bau. Photovoltaik-Indachsysteme übernehmen neben der Stromproduktion die Funktion der Wasser führenden Dachhaut. Eine wichtige Aufgabe von P&D-Projekten ist zudem die Erfolgskon-

trolle von neuen Produkten und Konzepten in der Praxis (Figur 4).

Das ISAAC an der SUPSI hat zum Thema der Photovoltaik-Gebäudeintegration einen Schwerpunkt gesetzt und erarbeitet in mehreren übergreifenden Projekten umfassende Analysen und



Figur 4: Zustand von schneebedeckten PV-Modulen an einem Februar-Tag mit unterschiedlichen Lösungen zur Schneentfernung (von vorne: Eulektra, Freso, Solutronic (X2) und Bosch als Referenz) (Bildquelle: Planair).



Figur 5: Feldtest von Prototypen aus dem Projekt PV Foamglas beim ISAAC SUPSI: Vorgehängte PV-Testfassade (links), geklebte PV-Testfassade (rechts) (Bildquelle: Basler & Hofmann).

Lösungsansätze. Dieses Wissen wird im BRENET-Netzwerk (Nationales Kompetenznetzwerk Gebäudetechnik und Erneuerbare Energien) weiter entwickelt. Mit der Homepage www.bipv.ch werden aktuelle Produkte und Lösungen einem breiten Publikum vorgestellt.

Ästhetische und funktionale Gebäudeintegration

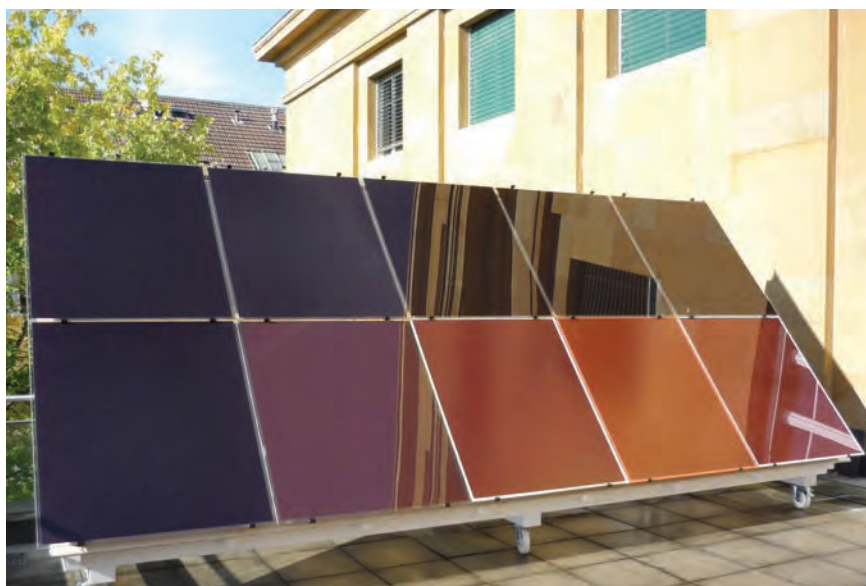
Die folgenden Beispiele von P&D-Projekten stellen aktuelle Ansätze der PV-Gebäudeintegration dar, bei welchen funktional und ästhetisch neue, sowie wirtschaftlich aussichtsreiche Lösungen erarbeitet und in der Praxis getestet werden.

Im BFE-Projekt PV-Foamglas geht es darum, dass die Photovoltaikmodule neben der Stromproduktion und der Funktion der Dachhaut auch die Wärme- und Schalldämmung übernehmen. Dieser Ansatz stellt insbesondere in Bezug auf das thermische Verhalten der Photovoltaikanlage eine Herausforderung dar. Hierzu erarbeiten die Partner Basler & Hofmann und Pittsburgh Corning Schweiz geeignete Lösungen, welche anschliessend in einer Demonstrationsanlage realisiert werden sollen. Im Berichtsjahr wurden konkrete technische Lösungen des geklebten Verbunds zwischen Glas-Glasmodulen und dem Foamglas-Dämmstoff realisiert und kli-

matisch wie in Bezug auf die Haftung geprüft (Figur 5). In einem ersten Feldtest wurden Fassadenelemente mit und ohne Dämmstoff in Bezug auf die elektrische Produktion und Performance verglichen. Diese ersten Erkenntnisse sollen in einer grösseren Pilotanlage weiter vertieft werden.

Einen grundlegenden Ansatz verfolgt das P&D-Projekt Archinsolar, welches verschiedene Partner und Förderorganisationen (BFE, SwisselectricResearch, SIG, CCEM) vereint. Es geht darum,

Silizium-Dünnschichtsolarmodule mittels kolorierten Interferenzfiltern so zu gestalten, dass unterschiedliche Farben möglich werden (Figur 6). Damit soll eine neue und energetisch effizientere Art der Farbgebung von Solarmodulen erzielt werden. Im Berichtsjahr wurden verschiedene farbige und grossflächige Demonstrationsmodule sowie Dachziegel hergestellt. Dabei wurde der Verbundaufbau variiert und in Bezug auf Materialien, Funktionalität, Haftung, Dichtheit, Kosten sowie Umweltaspekte analysiert.



Figur 6: Erste Prototypen von farbigen Dünnschicht-PV-Modulen aus dem Projekt Archinsolar (Bildquelle: PV-Lab, EPFL).

Nationale Zusammenarbeit

Im Berichtsjahr wurde die vielfältige nationale Zusammenarbeit in verschiedenen, zum Teil übergreifenden Projekten weiter gepflegt. Damit findet innerhalb der Schweizer Photovoltaik-Gemeinschaft aus Forschung, Industrie und Anwendung ein reger Austausch statt. Die Zusammenarbeit mit Industrieunternehmen konnte weiter intensiviert werden, sowohl in neuen Projekten mit Unterstützung der KTI, als auch in der Form von direkten Mandaten der Industrie an ausgewählte Forschungsinstitute. Als wichtigstes neues Element ist das CSEM Photovoltaik-Kompetenzzentrum zu erwähnen, welches anfangs 2013 seinen Betrieb aufnimmt. Es soll die industriennahe Forschung mit allen wichtigen Schweizer Photovoltaik-Kompetenzzentren nachhaltig stärken.

Auf Programmebene wurde die Zusammenarbeit mit vielen Stellen des Bundes, der Kantone und der Elektrizitätswirtschaft weiter gepflegt. Auf der strategischen Ebene wurde die Umsetzung des neuen Forschungskonzeptes der Eidgenössischen Energieforschungskommission (Commission fédérale pour la recherche énergétique CORE) 2013–2016 [8] vorbereitet. Hierzu soll auch der im Entwurf bestehende Masterplan Photovoltaik weiter voran getrieben werden. Mit dem Aktionsplan Koordinierte Energieforschung, dem erwähnten CSEM Photovoltaik-Kompetenzzentrum mit Unterstützung des Bundes und der Erhöhung der BFE-Mittel für P&D-Projekte haben sich wesentliche Randbedingungen für die beschleunigte Entwicklung und Umsetzung der Forschung positiv entwickelt.

Internationale Zusammenarbeit

Die institutionelle Zusammenarbeit innerhalb der IEA, der IEC und der europäischen Netzwerkprojekte wurde im Berichtsjahr kontinuierlich fortgesetzt. Auf der Projektebene konnte die Zusammenarbeit innerhalb der EU in bestehenden und neuen Projekten sehr erfolgreich fortgesetzt werden. Im Jahr 2012 waren es 21 Projekte im 7. Rahmenforschungsprogramm der EU bzw. zwei Grundlagen-Projekte mit Unterstützung des European Research Council.

Die Beteiligung am Photovoltaikprogramm der IEA (Implementing Agreement PVPS) wurde im Berichtsjahr fortgesetzt, sowohl auf der Projektebene als auch im Executive Committee (ExCo) [9]. Im Berichtsjahr wurde die 4. Phase dieses Programms abgeschlossen und für die 5. Phase eine neu ausgerichtete Strategie erarbeitet.

Die Firma Nova Energie vertritt die Schweiz in Task 1 des Implementing Agreements (IA) PVPS der IEA, welcher allgemeine Informationsaktivitäten zur Aufgabe hat. Im Berichtsjahr wurde ein weiterer nationaler Bericht über die Photovoltaik in der Schweiz bis 2011 [10] ausgearbeitet. Auf dieser Grundlage wurde die 17. Ausgabe des jährlichen internationalen Berichtes (Trends Report) über die Marktentwicklung der Photovoltaik in den IEA-Ländern erstellt [11].

Im Rahmen der interdepartementalen (SECO, DEZA, BAFU, BFE) REPIC Plattform zur Förderung der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz in der internationalen Zusammenarbeit [12] leistet das Beratungsunternehmen Entec den Schweizer Beitrag zum IA PVPS Task 9 über die Photovoltaik-Entwicklungszusammenarbeit. Dieses Projekt befasst sich mit der nachhaltigen Verbreitung der Photovoltaik in Entwicklungsländern und thematisiert auch Aspekte der solaren Wasserversorgung. Im Berichtsjahr wurde dazu

unter Schweizer Leitung eine neue Publikation mit Empfehlungen zur Nachhaltigkeit von solaren Wasserversorgungsprojekten fertiggestellt [13].

ESU Services bzw. die im Berichtsjahr daraus heraus gegründete Treeze vertritt die Schweiz im IA PVPS Task 12 zu Umwelt-, Sicherheits- und Gesundheitsaspekten der Photovoltaik. In diesem Projekt sollen industriell möglichst aktuelle, relevante und international abgeglichene Informationen zu diesem bedeutenden Thema aufgearbeitet und publiziert werden.

TNC vertritt die Schweiz im IA PVPS Task 13 zu Performance und Zuverlässigkeit von Photovoltaikanlagen, welcher in der Schweiz durch den IEA PVPS Pool (aktuell getragen von ewz., Gesellschaft Mont Soleil und Swissolar) gefördert wird. Im Berichtsjahr hat TNC eine internationale Datenbank für Photovoltaik bereitgestellt, mit welcher weltweit Erfahrungen und Resultate aus vermessenen Photovoltaik-Anlagen gesammelt und analysiert werden können [14]. Im Projekt werden zudem Methoden zur Charakterisierung und normierten Messung von Photovoltaikmodulen entwickelt sowie entsprechende Erfahrungen, z. B. zu Fehlverhalten von Modulen, ausgetauscht. In diese Aktivität ist auch das ISAAC SUPSI mit seinen relevanten Aktivitäten eingebunden. An der 27. Europäischen Photovoltaik Konferenz in Frankfurt fand dazu ein vielbeachteter Workshop statt.

Eine Arbeitsgruppe unter Leitung von Planair vertritt die Schweiz im IA PVPS Task 14 zur hohen Penetration von PV-Anlagen in elektrischen Netzen. Auch dieser Schweizer Beitrag wird durch den IEA PVPS Pool unterstützt. Das Projekt gewinnt aufgrund des starken Wachstums der Photovoltaik in einzelnen Ländern bzw. Regionen rasch an Bedeutung

und stösst damit auf grosses internationales Interesse. Erste Projektergebnisse betreffen hier Vorhersagemodelle und Fallstudien zu hoher Photovoltaik-Netzpenetration.

Das Unternehmen Meteotest und die Groupe Energie an der Universität Genf erbringen zusammen den Schweizer Beitrag zum Task 46 Solar resource assessment and forecasting. Task 46 folgt dem ähnlichen Task 36 und ist Bestandteil des IA Solare Wärme und Kälte (SHC) der IEA [15], inhaltlich ist es jedoch für alle Solartechnologien relevant. Dementsprechend erfolgt eine Zusammenarbeit mit den weiteren IA zur Solarenergie (IA PVPS und IA SolarPACES). In diesem Projekt werden die Auswirkungen von Strahlungsänderungen und Vorhersagen auf die solare Energieproduktion bei hoher Dichte von Solaranlagen sowie die Verfügbarmachung der entsprechenden Daten bearbeitet.

Ähnlich erfolgt im Task 41 [16] Solar Energy and Architecture des IA SHC eine Mitwirkung der Schweiz durch die HSLU (CCTP) und das ISAAC an der SUPSI. Auch hier finden Photovoltaik-relevante Aktivitäten statt. Dieses Vorhaben wurde im Berichtsjahr abgeschlossen.

Basler & Hofmann vertritt die Schweiz im Auftrag von Swissolar im TC 82 der IEC zu Photovoltaik-Normen [17].

Das von verschiedenen Ländern seit 2010 selbst getragene Projekt PV-ERA-Net, welches Programmkoordinationsstellen und verantwortliche Ministerien unter dem ERA-Net-Schema zusammengeführt hatte, wurde am Ende des Berichtsjahrs durch das neue SOLAR-ERA.NET Projekt [18] abgelöst. Dieses neue EU-Projekt umfasst nebst der Photovoltaik auch die konzentrierende solarthermische Energie und soll die Umsetzung der Solar Europe Industry Initiative unterstützen. Das Projekt umfasst rund 20 nationale und regionale Forschungs- und Innovationsprogramme. Das Projekt wird durch die Schweiz (BFE Programmleitung *Photovoltaik*) koordiniert.

Die Schweiz ist zudem in der Europäischen Photovoltaik-Technologie-Plattform sowohl im Steuerungsausschuss, als auch in der Mirror Group vertreten [19].

Referenzen

[1] *Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung, Das 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung, BMWi (2011).*

[2] *SunShot Vision Study, US DOE (2012).*

[3] *IEA Technology Roadmap Solar photovoltaic energy, OECD/IEA, (www.iea.org/papers/2010/pv_roadmap.pdf) (2010).*

[4] *Grundlagen für die Energiestrategie des Bundesrates, BFE (2011).*

[5] *Konzept der Energieforschung des Bundes 2008 bis 2011, CORE/BFE (2007).*

[6] *Energieforschungsprogramm Photovoltaik für die Jahre 2008–2011, BFE (2008).*

[7] *Projektliste der Energieforschung des Bundes 2008–2009, BFE (2011).*

[8] *Konzept der Energieforschung des Bundes 2013 bis 2016, CORE/BFE (2012).*

[9] *IEA Implementing Agreement for a co-operative programme on photovoltaic power systems, IEA PVPS (www.iea-pvps.org).*

[10] *National Survey Report of PV Power Applications in Switzerland 2011, BFE (2012).*

[11] *Trends in Photovoltaic Applications, Survey Report of selected IEA countries between 1992 and 2010, IEA-PVPS T1-21 (2012).*

[12] *Interdepartementale Plattform zur Förderung der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz in der internationalen Zusammenarbeit, REPIC (www.repic.ch).*

[13] *Policy Recommendations to Improve the Sustainability of Rural Water Supply Systems, IEA-PVPS T9-11 (2011).*

[14] *IEA PVPS Task 13 Performance and Reliability of Photovoltaic Systems (www.iea-pvps.org).*

[15] *IEA SHC Task 46 Solar Resource Assessment and Forecasting (<http://task46.iea-shc.org/>).*

[16] *IEA SHC Task 41 Solar Energy and Architecture (<http://task41.iea-shc.org/>).*

[17] *IEC TC 82 Solar photovoltaic energy systems (www.iec.ch).*

[18] *ERA-NET on Solar Electricity for the Implementation of the Solar Europe Industry Initiative (www.solar-era.net).*

[19] *European Photovoltaic Technology Platform (www.eupvplatform.org).*

Laufende und im Berichtsjahr abgeschlossene Projekte

(* IEA-Klassifikation)

- THIN LAYERS FOR HIGH-EFFICIENCY SILICON SOLAR CELLS THROUGH IDEAL COUPLING OF INDIVIDUAL COMPONENTS**

Lead: EPFL STI IMT-NE PV-LAB

Contact: Ballif Christophe christophe.ballif@epfl.ch

Abstract: The project focuses on the increase in efficiency of thin film silicon devices, and also contributes to developments that can be implemented for high efficiency crystalline heterojunction solar cells. The final objective is to bring new findings to the research field that provides new routes for increased module efficiencies for similar costs, without impacting the reliability.

R&D (1a) 3.1.2*

Funding: BFE

Period: 2012–2014
- DEMONSTRATION OF HIGH PERFORMANCE PROCESSES AND EQUIPMENTS FOR THIN FILM SILICON PHOTOVOLTAIC MODULES (PEPPER)**

Lead: EPFL STI IMT-NE PV-LAB

Contact: Ballif Christophe christophe.ballif@epfl.ch

Abstract: The FP7 EU PEPPER project aims at achieving high efficiency (11 %) micromorph (amorphous/microcrystalline silicon tandem) modules at low cost (CoO ≤ 0.5 €/Wp) while reducing the environmental impact of fabrication processes.

R&D (1a) 3.1.2

Funding: EU

Period: 2010–2013
- FLEXIBLE PRODUCTION TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT BASED ON ATMOSPHERIC PRESSURE PLASMA PROCESSING FOR 3D NANO STRUCTURED SURFACES (N2P)**

Lead: EPFL STI IMT-NE PV-LAB

Contact: Ballif Christophe christophe.ballif@epfl.ch

Abstract: The overall objective of the project “N2P” (Nano to Production) is to develop and substantially enhance the position of Europe in the science, application and production technologies of surface 3D nano-structuring.

R&D (1a) 3.1.2

Funding: EU

Period: 2008–2012
- IMPROVED MATERIAL QUALITY AND LIGHT TRAPPING IN THIN FILM SILICON SOLAR CELLS (SILICON_LIGHT)**

Lead: EPFL STI IMT-NE PV-LAB

Contact: Ballif Christophe christophe.ballif@epfl.ch

Abstract: The project Si-Light is devoted to the investigation of n-i-p solar cells on flexible substrates with focus on material quality, interface properties, and light management.

R&D (1a) 3.1.2

Funding: EU

Period: 2010–2012
- ACCELERATED DEVELOPMENT AND PROTOTYPING OF NANO-TECHNOLOGY-BASED HIGH-EFFICIENCY THIN-FILM SILICON SOLAR MODULES (FAST TRACK)**

Lead: EPFL STI IMT-NE PV-LAB

Contact: Ballif Christophe christophe.ballif@epfl.ch

Abstract: The main project goals are the development of innovative photovoltaic cell processes and their up-scaling to the level of pilot lines. These goals should be reached in terms of stable device efficiency higher than 14% and a prototype module with stable efficiency higher than 12 %.

R&D (1a) 3.1.2

Funding: EU

Period: 2012–2015
- INTERFACE TEXTURING FOR LIGHT TRAPPING IN SOLAR CELLS**

Lead: EPFL STI IMT-NE PV-LAB

Contact: Ballif Christophe christophe.ballif@epfl.ch

Abstract: The project is devoted to a fundamental understanding of the light trapping process in solar cells.

R&D (1a) 3.1.2

Funding: SNF

Period: 2009–2013
- A NEW LOW ION ENERGY BOMBARDMENT PECVD REACTOR FOR THE DEPOSITION OF THIN FILM SILICON FOR SOLAR CELL APPLICATIONS.**

Lead: EPFL CRPP

Contact: Hollenstein Christoph christophe.hollenstein@epfl.ch

Abstract: A novel electrode configuration is proposed for improved plasma-enhanced chemical vapour deposition of films such as amorphous silicon and micro-crystalline silicon.

R&D (1a) 3.1.2

Funding: KTI

Period: 2008–2012

- **ZWEIDIMENSIONALE NANOSTRUKTUREN FÜR SILIZIUM-SOLARZELLEN** R&D (1a) 3.1.2
- Lead: PSI Paul Scherrer Institut Funding: BFE
- Contact: Gobrecht Jens jens.gobrecht@psi.ch Period: 2008–2012
- Abstract: Optical gratings can be used to increase the light absorption in thin film solar cells. The main goal of the project is the development of efficient numerical methods to solve the Maxwell equations in order to calculate the optical properties of crossed gratings rigorously.
- **NOVEL REFLECTIVE LAYER ALLOWING A CONTROL OF THE QUALITY OF THE MICROCRYSTALLINE SOLAR CELL IN THIN FILM MICROMORPH DEVICES** R&D (1a) 3.1.2
- Lead: HE-ARC Funding: KTI
- Contact: Keppner Herbert herbert.keppner@he-arc.ch Period: 2011–2013
- Abstract: The project aims to create an innovative smoothening reflective layer SRL that will be inserted between the top and bottom cell of a Micromorph tandem device deposited on as-grown thick highly textured LPCVD ZnO layer.
- **HISOCEL: IMPROVEMENT OF FRONT CONTACTS MORPHOLOGY FOR ENHANCEMENT OF EFFICIENCY IN THIN FILM SILICON SOLAR CELLS** R&D (1a) 3.1.2
- Lead: CSEM Funding: KTI
- Contact: Dadras Massoud massoud.dadras@csem.ch Period: 2012–2013
- Abstract: The aim of this project is to improve the front contacts of tandem microcrystalline & amorphous silicon solar cells to reach an efficiency of 13% by producing denser and nearly defect free silicon layers.
- **HIGH EFFICIENCY TRIPLE JUNCTION THIN FILM SILICON SOLAR CELLS IMPLEMENTING AMORPHOUS SILICON GERMANIUM ALLOY (TRIGGER)** R&D (1a) 3.1.2
- Lead: EPFL STI IMT-NE PV-LAB Funding: KTI
- Contact: Ballif Christophe christophe.ballif@epfl.ch Period: 2012–2015
- Abstract: Advanced triple junction solar cell will be developed to further enhance the conversion efficiency of thin film silicon solar cells. High quality silicon germanium alloys will be synthesized on textured substrates, and implemented in the triple junction solar cells. Record devices will be developed on state-of-the-art substrates as well as on advanced electrodes.
- **20 PERCENT EFFICIENCY ON LESS THAN 100 µM THICK INDUSTRIALLY FEASIBLE C-SI SOLAR CELLS (20PLµS)** R&D (1b) 3.1.2
- Lead: EPFL STI IMT-NE PV-LAB Funding: EU
- Contact: Ballif Christophe christophe.ballif@epfl.ch Period: 2010–2013
- Abstract: The guiding principle of the 20PLµS project is to develop new and innovative process steps for wafer fabrication and solar cell and module manufacturing, taking into consideration the transfer of the processes to a pilot production line.
- **ELECTROPLATED FRONT GRID FOR CRYSTALLINE SI HETERO JUNCTION SOLAR CELL** R&D (1b) 3.1.2
- Lead: NTB Funding: KTI
- Contact: Gutsche Martin martin.gutsche@ntb.ch Period: 2010–2012
- Abstract: The challenge of this project is to deposit the front grid metallization directly on a transparent conductive ITO layer with excellent adhesion, specified electrical performance, and good long-term reliability.
- **DEVELOPMENT OF THIN HIGH-EFFICIENCY LARGE-AREA INTERDIGITATED BACK CONTACT SILICON HETEROJUNCTION SOLAR CELLS FOR MASS PRODUCTION (HET-IBC)** R&D (1b) 3.1.2
- Lead: EPFL STI IMT-NE PV-LAB Funding: KTI
- Contact: Ballif Christophe christophe.ballif@epfl.ch Period: 2012–2014
- Abstract: The HET-IBC project aims at the development of an industrial process for the manufacture of high efficiency large-area interdigitated back contact silicon heterojunction solar cells on thin Si wafers. This type of device is amongst the most promising ones for ultra-high conversion efficiencies, low production costs and easier assembly into solar modules.

- **NODHID** R&D (1b) 3.1.2
- | | | | |
|-----------|--|----------|-----------------|
| Lead: | EPFL STI IMT-NE PV-LAB | Funding: | Axpo Naturstrom |
| Contact: | Ballif Christophe christophe.ballif@epfl.ch | Period: | 2011–2013 |
| Abstract: | Entwicklung von kristallinen Silizium-Solarzellen und -modulen mit höherem Wirkungsgrad und besserer Energieausbeute | | |
- **CIGS MULTI-STAGE INLINE DEMONSTRATION** R&D (1c) 3.1.2
- | | | | |
|-----------|---|----------|-----------|
| Lead: | Empa Dübendorf | Funding: | BFE |
| Contact: | Tiwari Ayodhya N. ayodhya.tiwari@Empa.ch | Period: | 2011–2013 |
| Abstract: | The goal of the project is to develop and demonstrate a CIGS deposition system where the innovative multi-stage co-evaporation process developed in the lab for small area substrates in static positions can be scaled up for coating on in-line moving large area substrates. | | |
- **HIPOCIGS – NEW CONCEPTS FOR HIGH EFFICIENCY AND LOW COST IN-LINE MANUFACTURED FLEXIBLE CIGS SOLAR CELLS** R&D (1c) 3.1.2
- | | | | |
|-----------|--|----------|-----------|
| Lead: | Empa Dübendorf | Funding: | EU |
| Contact: | Tiwari Ayodhya N. ayodhya.tiwari@Empa.ch | Period: | 2010–2012 |
| Abstract: | The HIPO-CIGS project aims at the development of cost efficient flexible solar cells and modules based on the compound semiconductor CIGS. | | |
- **NOVA-CI(G)S – NON-VACUUM PROCESSES FOR DEPOSITION OF CI(G)S ACTIVE LAYER IN PV CELLS** R&D (1c) 3.1.2
- | | | | |
|-----------|--|----------|-----------|
| Lead: | Empa Dübendorf | Funding: | EU |
| Contact: | Tiwari Ayodhya N. ayodhya.tiwari@Empa.ch | Period: | 2010–2013 |
| Abstract: | NOVA-CI(G)S proposes alternative, non-vacuum deposition processes for thin film CI(G)S photovoltaic cells. The low capital intensive, high throughput, high material yield processes are expected to deliver large area uniformity and optimum composition of cells. | | |
- **ROLL-TO-ROLL MANUFACTURING OF HIGH EFFICIENCY AND LOW COST FLEXIBLE CIGS SOLAR MODULES (R2R-CIGS)** R&D (1c) 3.1.2
- | | | | |
|-----------|---|----------|-----------|
| Lead: | Empa Dübendorf | Funding: | EU |
| Contact: | Tiwari Ayodhya N. ayodhya.tiwari@Empa.ch | Period: | 2012–2015 |
| Abstract: | The aim of R2R-CIGS is to develop efficient flexible solar modules by implementing innovative cost-effective processes such that production costs below 0.5€/Wp can be achieved in large volume factories with annual capacity of 500MWp in future. | | |
- **DEVELOPMENT AND SCALE-UP OF NANOSTRUCTURED BASED MATERIALS AND PROCESSES FOR LOW COST HIGH EFFICIENCY CHALCOGENIDE BASED PHOTOVOLTAICS (SCALENANO)** R&D (1c) 3.1.2
- | | | | |
|-----------|--|----------|-----------|
| Lead: | SUPSI ISAAC | Funding: | EU |
| Contact: | Virtuani Alessandro alessandro.virtuani@supsi.ch | Period: | 2012–2015 |
| Abstract: | This project will exploit the potential of chalcogenide based thin film photovoltaic technologies for the development and scale-up of new processes based on nano-structured materials for the production of high efficiency and low cost photovoltaic devices and modules compatible with mass production requirements. | | |
- **DURSOL – EXPLORING AND IMPROVING DURABILITY OF THIN FILM SOLAR CELLS** R&D (1d) 3.1.2
- | | | | |
|-----------|---|----------|-----------|
| Lead: | Empa | Funding: | diverse |
| Contact: | Nüesch Frank frank.nuesch@Empa.ch | Period: | 2011–2013 |
| Abstract: | The project's objectives are focused towards the understanding of fundamental degradation phenomena in thin film solar cells and enhancement of lifetime. | | |

- **NEUARTIGE SENSIBILISATOREN FÜR FARBSTOFFSOLARZELLEN: SQUARAIN- UND HEPTAMETHINFARBSTOFFE MIT EINER GROSSEN SPEKTRALEN VIELFALT OBERHALB 700 NM** R&D (1d) 3.1.2
- Lead: Empa Dübendorf Funding: KTI
- Contact: Nüesch Frank frank.nuesch@Empa.ch Period: 2009–2012
- Abstract: Was für die Pflanzen bzw. für die Photosynthese die komplexen Chlorophyllmoleküle sind, sind für Solarzellen heutzutage photosensitive anorganische und organische Materialien, die in gleicher Weise wie das Chlorophyll effizient Licht absorbieren und in Energie umwandeln können. Die Entwicklung solcher organischer Materialien für Farbstoffsolarzellen ist das Ziel des Projektes.
- **ESCORT – EFFICIENT SOLAR CELLS BASED ON ORGANIC AND HYBRID TECHNOLOGY** R&D (1d) 3.1.2
- Lead: EPFL ISIC-LPI Funding: EU
- Contact: Graetzel Michael michael.graetzel@epfl.ch Period: 2010–2013
- Abstract: The project's objectives are to exploit the joint leadership of the top European and Indian academic and industrial Institutions to foster the wide-spread uptake of Dye-Sensitized Solar Cells technology, by improving over the current state of the art by innovative materials and processes.
- **MOLESOL – ALL-CARBON PLATFORMS FOR HIGHLY EFFICIENT MOLECULAR WIRE-COUPLED DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS** R&D (1d) 3.1.2
- Lead: EPFL ISIC-LPI Funding: EU
- Contact: Graetzel Michael michael.graetzel@epfl.ch Period: 2010–2013
- Abstract: The proposed project comes with a visionary approach, aiming at development of highly efficient molecular-wire charge transfer platform to be used in a novel generation thin film dye-sensitized solar cells fabricated via organic chemistry routes. The proposed technology combines the assembled dye monolayer's, linked with organic molecular wires to semiconducting thin film deposited on optically transparent substrates.
- **SANS – SENSITIZER ACTIVATED NANOSTRUCTURED SOLAR CELLS** R&D (1d) 3.1.2
- Lead: EPFL ISIC-LPI Funding: EU
- Contact: Graetzel Michael michael.graetzel@epfl.ch Period: 2011–2013
- Abstract: Plastic electronics and solution-processable inorganic semiconductors can revolutionise the photovoltaic industry due to their relatively easy and low cost processability (low embodied energy). The project aims at achieving significant progress in the materials for this type of solar cells.
- **FARBSTOFF-SOLARZELLEN AUF SEFAR PRÄZISIONSGEWEBEN** R&D (1d) 3.1.2
- Lead: EPFL ISIC-LPI Funding: KTI
- Contact: Graetzel Michael michael.graetzel@epfl.ch Period: 2012–2014
- Abstract: The project aims to enhance market readiness of dye sensitized solar cells (DSC) by developing electrodes based on transparent and conductive precision fabrics.
- **ORDERED INORGANIC-ORGANIC HYBRIDS USING IONIC LIQUIDS FOR EMERGING APPLICATIONS (ORION)** R&D (1d) 3.1.2
- Lead: Solaronix SA Funding: EU
- Contact: Meyer Toby toby.meyer@solaronix.com Period: 2009–2013
- Abstract: The ORION project puts together a multidisciplinary consortium of leading European universities, research institutes and industries with the overall goal of developing new knowledge on the fabrication of inorganic-organic hybrid materials using ionic liquids.
- **FIRST PRINCIPLES SIMULATIONS OF THE ELECTRON DYNAMICS IN DYE SENSITIZED SOLAR CELLS** R&D (1d) 3.1.2
- Lead: ETH Zürich Funding: SNF
- Contact: VandeVondele Joost joost.vandevondele@mat.ethz.ch Period: 2011–2016
- Abstract: The research focus is on the development of new methods to enable ab initio molecular dynamics simulations of complex systems with modern density functional theory. New methods, implemented for massively parallel computers, are applied to a wide range of systems such as radicals in clusters and the condensed phase, surface physics, and interfacial systems such as dye sensitized solar cells.

- **MESOLIGHT – MESOSCOPIC JUNCTIONS FOR LIGHT ENERGY HARVESTING AND CONVERSION** R&D (1d) 3.1.2
- Lead: EPFL Funding: EU
- Contact: Vaccaro Luciana luciana.vaccaro@epfl.ch Period: 2010–2015
- Abstract: Research will focus on the generation of electric power by mesoscopic solar cells. The target is to increase the photovoltaic conversion efficiency from currently 11 to over 15 percent rendering these new solar cells very attractive for applications in large areas of photovoltaic electricity production.
- **UPCON – ULTRA-PURE NANOWIRE HETEROSTRUCTURES AND ENERGY CONVERSION** R&D (1d) 3.1.2
- Lead: EPFL Funding: EU
- Contact: Vaccaro Luciana luciana.vaccaro@epfl.ch Period: 2010–2014?
- Abstract: This proposal is devoted to the synthesis of ultra pure semiconductor nanowire heterostructures for energy conversion applications in the photovoltaic domain.
- **TRANSPARENT ELECTRODES FOR LARGE AREA, LARGE SCALE PRODUCTION OF ORGANIC OPTOELECTRONIC DEVICES** R&D (1d) 3.1.2
- Lead: Empa Dübendorf Funding: EU
- Contact: Nüesch Frank frank.nuesch@empa.ch Period: 2011–2015
- Abstract: TREASURES will demonstrate the production of large area organic electronics using high throughput manufacturing technologies based on roll-to-roll (R2R) wet deposition processes.
- **NUMERICAL SIMULATION, DESIGN AND FABRICATION OF EXTREMELY THIN ABSORBER SOLAR CELLS** R&D (1d) 3.1.2
- Lead: ZHAW, Empa Thun Funding: BFE
- Contact: Loeser Martin loma@zhaw.ch Period: 2011–2012
- Abstract: This joint research focuses on combining both numerical and experimental methods to analyze and improve the optical efficiency of extremely thin absorber (ETA) solar cells.
- **CARACTÉRISATION DES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES À COLORANT DE L'ENTREPRISE G2E (SWISS SOLAR POWER)** R&D (1d) 3.1.2
- Lead: HEIG-VD Funding: BFE
- Contact: Affolter Jean-François jean-francois.affolter@heig-vd.ch Period: 2012–2014
- Abstract: A solar simulator for measuring the performance of solar panels based on dye sensitised solar cells is going to be realized. The panels will be installed in real conditions and monitored over a complete year, in order to characterize and have the necessary perspective on this new technology and product.
- **NANOSPEC – NANOMATERIALS FOR HARVESTING SUB-BAND-GAP PHOTONS VIA UPCONVERSION TO INCREASE SOLAR CELL EFFICIENCIES** R&D (1e) 3.1.2
- Lead: Universität Bern, Dep. Chemie & Biologie Funding: EU
- Contact: Krämer Karl karl.kraemer@iac.unibe.ch Period: 2010–2013
- Abstract: Fundamental loss mechanisms limit the maximum achievable efficiency: around 20% of the incident power is lost, because photons with energies below the band-gap are transmitted. Upconversion of two low energy photons into one usable photon reduces these losses. In this project we will realize upconversion with the help of nanostructures and nanotechnology-based materials and show a significant improvement in solar cell efficiency.
- **NANODESIGNED ELECTROCHEMICAL CONVERTER OF SOLAR ENERGY INTO HYDROGEN HOSTING NATURAL ENZYMES OR THEIR MIMICS (SOLHYDROMICS)** R&D (1e) 3.1.2
- Lead: Solaronix SA Funding: EU
- Contact: Meyer Toby toby.meyer@solaronix.com Period: 2009–2012
- Abstract: The main objective is to leapfrog current limitations of third-generation PV devices through a drastic improvement of the materials used for assembling XSCs.

- **INNOVASOL – INNOVATIVE MATERIALS FOR FUTURE GENERATION EXCITONIC SOLAR CELLS** R&D (1e) 3.1.2
- Lead: Solaronix SA Funding: EU
- Contact: Meyer Andreas andreas.meyer@solaronix.com Period: 2009–2012
- Abstract: The main objective is to leapfrog current limitations of third-generation PV devices through a drastic improvement of the materials used for assembling excitonic solar cells.
- **OPTIMIZED METHODS FOR INCREASED PERFORMANCE PHOTOVOLTAIC CELLS BY NANOPARTICLES INTEGRATION (OPTINOGEN)** R&D (1e) 3.1.2
- Lead: EIA-FR Funding: Sciex
- Contact: Niederhaeuser Elena Lavinia Elena-Lavinia.Niederhaeuser@hefr.ch Period: 2011–2013
- Abstract: The project targets the optimization and the development of new improved methods for enhancing of the overall performance and stability of nanocomposite solar cells (NSC) by introducing new physical principles.
- **DIAMOND: DISCOVERY AND INSIGHT WITH ADVANCED MODELS OF NANOSCALE DIMENSIONS** R&D (1e) 3.1.2
- Lead: ETH Zürich Funding: ERC
- Contact: VandeVondele Joost joost.vandevondele@mat.ethz.ch Period: 2011–2016
- Abstract: Generating knowledge about new materials and obtaining insight in their properties at the nano-scale level are highly relevant to the scientific objectives of the EU. Here, it is proposed to advance the current state of the art in atomistic modeling of complex systems. The goals are providing and establishing new tools that will allow for the description of large multi-component/multi-phase systems at experimental temperature and pressure with predictive power and controlled error.
- **ENTWICKLUNG NEUARTIGER POLYMERE FÜR DIE POLYMERPHOTOVOLTAIK** R&D (1e) 3.1.2
- Lead: ZHAW -ICBC Funding: diverse
- Contact: Hinderling Christian hicr@zhaw.ch Period: 2010–2012
- Abstract: Projektziel ist die Herstellung und Erprobung von neuartigen Polymeren für den Einsatz in Polymersolarzellen. Geeignete Polymere enthalten Cyaninfarbstoffe als aktive Komponente und zeichnen sich insbesondere dadurch aus, dass sie sich aus einer Lösung heraus z.B: durch spin-coating verarbeiten lassen. Ein weiteres Projektziel ist die Erprobung solcher Polymere in homo-junction devices.
- **PYRITE-BASED SOLAR CELL** R&D (1e) 3.1.2
- Lead: HE-ARC Funding: diverse
- Contact: Keppner Herbert herbert.keppner@he-arc.ch Period: 20010–2012
- Abstract: The overall objective of this project is the achievement of a “diode kind” behavior of a full pyrite / ZnO heterojunction device ready for electronic characterization (current-voltage, spectral response, etc.) and further optimization.
- **LIGHT-IN, LIGHT-OUT: CHEMISTRY FOR SUSTAINABLE ENERGY TECHNOLOGIES (LILO)** R&D (1e) 3.1.2
- Lead: Uni Basel (Institut für Anorganische Chemie) Funding: ERC
- Contact: Constable Edwin Charles Edwin.Constable@unibas.ch Period: 2011–2016
- Abstract: The project is concerned with a coordinated approach to the development of novel chemical strategies for light harvesting by photovoltaic cells and light generation using light emitting electrochemical cells.
- **ENTWICKLUNG VON LUMINESZENZKONZENTRATOREN** R&D (1e) 3.1.2
- Lead: ZHAW IEFÉ Funding: diverse
- Contact: Brühwiler Dominik dominik.bruehwiler@zhaw.ch Period: 2011–2015
- Abstract: Das hier untersuchte Konzept von Lumineszenzkonzentratoren baut auf der Grundlage der Förster Resonance Energy Transfer (FRET) Frequenzverschiebung auf. Hierzu werden geeignete Materialien mit den gewünschten Eigenschaften entwickelt.

- UNIQUE AND INNOVATIVE SOLUTION OF THIN SILICON FILMS MODULES BUILDING INTEGRATION (ARCHINSOLAR)**

Lead: CSEM

Contact: Perret-Aebi Laure-Emmanuelle laure-emmanuelle.perret@csem.ch

Abstract: This project aims to develop and test a new generation of photovoltaic building elements based on thin film silicon technology (single amorphous and tandem amorph/microcrystalline cells).

P&D (2a) 3.1.2

Funding: BFE, SER, CCEM

Period: 2010–2013
- NOVEL PRODUCTION EQUIPMENT FOR NOVEL PHOTOVOLTAIC MODULE DESIGNS USING NEW ENCAPSULANTS**

Lead: EPFL STI IMT-NE PV-LAB

Contact: Ballif Christophe christophe.ballif@epfl.ch

Abstract: The main target of this project is the development and the market launch of novel laminating lines optimized for the production of PV modules based on novel module designs using new encapsulants.

R&D (2a) 3.1.2

Funding: KTI

Period: 2012–2014
- ADVANCED LASERS FOR PHOTOVOLTAIC INDUSTRIAL PROCESSING ENHANCEMENT (ALPINE)**

Lead: Oclaro (Switzerland) AG

Contact: Schmid Manuel www.oclaro.com

Abstract: ALPINE aims to push forward the European research and development of fiber laser systems for the scribing of photovoltaic modules, joining together two exciting challenges: the fiber laser development for advanced industrial processing and the solar energy exploitation.

R&D (2a) 3.1.2

Funding: EU

Period: 2009–2012
- PRODUKTENTWICKLUNG SOLAR DEVICE**

Lead: NTB

Contact: Gutsche Martin martin.gutsche@ntb.ch

Abstract: In diesem Projekt wird die Technologie der hocheffizienten textilen Photovoltaik bis zur Produktionsreife weiterentwickelt. Diese Produktentwicklung wird die Markteinführung von textiler Photovoltaik beschleunigen.

R&D (2a) 3.1.2

Funding: KTI

Period: 2010–2012
- TEXTILE PHOTOVOLTAICS: INTEGRATION OF MINIATURIZED SOLAR MODULES ON TEXTILES BY EMBROIDERY TECHNIQUES**

Lead: NTB

Contact: Gutsche Martin martin.gutsche@ntb.ch

Abstract: Im Projekt Textile Photovoltaik werden durch die Kombination von bestehenden Techniken miniaturisierte Solarmodule hergestellt und mittels Sticktechnik zu einem neuen Gewebeverbund verarbeitet. Die erarbeiteten Techniken erlauben es zum ersten Mal, vollflexible Flächengebilde mit photovoltaischer Funktion zu erzeugen.

R&D (2a) 3.1.2

Funding: KTI

Period: 2010–2012
- LOW-COST PV BITUMINOUS-MODIFIED ROOFING MEMBRANE WITH FULL INTEGRATION OF FLEXIBLE THIN-FILM SILICON PV MODULES (PV-GUM)**

Lead: VHF Technologies SA

Contact: Fischer Diego diego.fischer@flexcell.com

Abstract: The PV-GUM project aims at developing new manufacturing technologies and equipments which will produce a low cost highly efficient flexible BIPV solar cell on a bituminous roofing membrane.

R&D (2a) 3.1.2

Funding: EU

Period: 2010–2013
- LARGE AREA SOLAR SIMULATOR INTEGRATING POWER LIGHT EMITTING DIODES FOR PERFORMANCE MEASUREMENT OF NEW GENERATIONS OF PHOTOVOLTAIC MODULES (SUNSIM)**

Lead: EPFL STI IMT-NE PV-LAB

Contact: Ballif Christophe christophe.ballif@epfl.ch

Abstract: High precision solar simulators will become crucial to characterize the next generation of low cost PV modules. In this project, a new large area characterization tool, satisfying criteria on homogeneity, spectrum, and temporal stability will be developed, prototyped and tested.

R&D (2b) 3.1.2

Funding: KTI

Period: 2010–2012

- **OPTIMIZATION OF THIN FILM MODULE TESTING AND PV MODULE ENERGY RATING AT SUPSI** R&D (2c) 3.1.2
- Lead: SUPSI ISAAC Funding: BFE
 Contact: Friesen Gabi gabi.friesen@supsi.ch Period: 2011–2014
 Abstract: This project aims to improve the measurement accuracy for thin film technologies through the definition of new test procedures and the up-grade of the test equipment.
- **DEFEKTRANALYSEN AN PV MODULEN MIT ELEKTROLUMINISENZAUFNAHMEN UND DEREN KLASSIFIZIERUNG** R&D (2c) 3.1.2
- Lead: SUPSI ISAAC Funding: KTI
 Contact: Friesen Thomas thomas.friesen@supsi.ch Period: 2011–2012
 Abstract: The project aims to improve the quality control of PV module production. The quality control is performed after the soldering of the string and before the lamination process. This step allows the repair of strings with soldered cracked cells replacing them with new ones and the final quality of the PV module increase.
- **PHOTOVOLTAIK IM VERBUND MIT DÄMMSTOFF FOAMGLAS** P&D (2d) 3.1.2
- Lead: Basler & Hofmann AG Funding: BFE
 Contact: Bucher Christof christof.bucher@baslerhofmann.ch Period: 2010–2013
 Abstract: The scope of this project is the development and realisation of building integrated photovoltaic (BIPV) including the feature of thermal insulation. A pilot plant with modules combined of photovoltaic modules and Foamglas insulation shall be build.
- **SOLAR BRICK: INNOVATIVE PHOTOVOLTAIC AND THERMAL INSULATING BUILDING MATERIALS** R&D (2d) 3.1.2
- Lead: SUPSI ISAAC Funding: KTI
 Contact: Rudel Roman roman.rudel@supsi.ch Period: 2011–2013
 Abstract: The goal of this project is to develop a photovoltaic and thermal insulating building material and in parallel to plan and construct a prototype installation including said material.
- **PV-CARPORTS PUBLIKUMSWIRKSAME PHOTOVOLTAIKANLAGE** P&D (2d) 3.1.2
- Lead: ZHAW IEFE Funding: diverse
 Contact: Baumgartner Franz franz.baumgartner@zhaw.ch Period: 2011–2012
 Abstract: Es wird die Nutzung von mit Photovoltaik überdachten Parkplätzen im Zusammenhang mit der Elektromobilität untersucht. Anhand von konkreten Fallstudien wird das Potenzial dieser Anwendung abgeschätzt.
- **APPLICATION DE MODULES PV FLEXIBLES SUR LE SITE DE PRODUCTION FLEXCELL** P&D (2d) 3.1.2
- Lead: VHF Technologies SA Funding: BFE
 Contact: Fischer Diego diego.fischer@flexcell.com Period: 2009–2012
 Abstract: The goal of this project to develop, install and monitor various building integrated PV products and installation solutions based on Flexcell's technology on buildings of Flexcell's production site in Yverdon.
- **LANGZEIT-MESSUNG VON PV-ANLAGEN** R&D (3) 3.1.2
- Lead: BFH Burgdorf Funding: KTI
 Contact: Muntwyler Urs urs.muntwyler@bfh.ch Period: 2012–2016
 Abstract: Das PV Labor führt Langzeit-Messungen an unterschiedlichen PV-Anlagen durch und dokumentiert damit das längerfristige Verhalten dieser Anlagen.

- **PHOTOVOLTAÏQUE ET NEIGE: HORIZON DES SOLUTIONS POUR L'INSTALLATION SUR LES TOITS DANS LES RÉGIONS ENNEIGÉES** P&D (3) 3.1.2
- Lead: Planair SA Funding: BFE
- Contact: Perret Lionel lionel.perret@planair.ch Period: 2011–2014
- Abstract: Seven different photovoltaic fields and three snow clearing solutions were implemented. Measures on different parameters such as production and consumption of each field will occur during the winters of 2012, 2013 and 2014. The evaluation of the measures will enable to determine snow impact and compare different photovoltaic technologies and snow clearing solutions.
- **POTENTIAL VON PHOTOVOLTAIK AN SCHALLSCHUTZWÄNDEN ENTLANG DER NATIONALSTRASSEN (ASTRA)** R&D (3) 3.1.2
- Lead: TNC Consulting AG Funding: ASTRA
- Contact: Nordmann Thomas nordmann@tnc.ch Period: 2010–2013
- Abstract: Das Projekt prüft das Anwendungspotential der Kombination von Photovoltaik und Schallschutz ausgehend vom kurz- und mittelfristigen Realisierungsumfang bestehender und neuer Schallschutzvorhaben in der Schweiz entlang von Nationalstrassen.
- **MOBILES PV MESSSYSTEM** P&D (3) 3.1.2
- Lead: ZHAW IEFE Funding: diverse
- Contact: Baumgartner Franz franz.baumgartner@zhaw.ch Period:
- Abstract: Ein Messsystem für PV-Module ist auf einem Kleinbus montiert und erlaubt so Messungen von PV-Modulen an einem beliebigen Ort. Damit können langwierige Transporte von grösseren Mengen von zu testenden Modulen vermieden werden.
- **ALTERNATIVE AUFSTÄNDERUNG FÜR PV-MODULE** R&D (3) 3.1.2
- Lead: ZHAW Funding: KTI
- Contact: Koller Christoph kolc@zhaw.ch Period: 2011–2012
- Abstract: The world's first solar ski lift has a 60 kW PV system that is tracked in one axis. The robust design of the mechanical system requires less material than usual: less than 100kg of steel per kW nominal PV module. To achieve this goal the steel cables function as the support structure for the PV modules.
- **PV TESTANLAGE DIETIKON** P&D (3) 3.1.2
- Lead: ZHAW IEFE Funding: diverse
- Contact: Baumgartner Franz franz.baumgartner@zhaw.ch Period: 0
- Abstract: Die Arbeiten an der PV Testanlage EKZ Dietikon wurden weitergeführt, mit der jährlichen Flasher Messungen aller etwa hundert Module mit dem EKZ ZHAW Flasherbus und der Ausweitung der Feinanalyse des Netzgekoppelten Systems. Dabei wurde in diesem Jahr der Fokus auf die DC und AC Performance der Inverter, die Gewichtungsfaktoren des Euro-Wirkungsgrades, aber auch den Wirkungsgradverlaufes an klaren und bewölkten Tagen für die fünf unterschiedlichen PV Modultechnologien gelegt.
- **SIMULATION APPROACH TO INVESTIGATE THE IMPACT OF DISTRIBUTED POWER GENERATION WITH PHOTOVOLTAICS ON A POWER GRID (PV ERA NET PROJECT PV+GRID_06_DPVG)** R&D (3) 3.1.2
- Lead: Basler & Hofmann AG Funding: BFE
- Contact: Bucher Christof christof.bucher@baslerhofmann.ch Period: 2010–2013
- Abstract: Simulation Approach to Investigate the Impact of Distributed Power Generation with Photovoltaics on a Power Grid. The project addresses the important topic of grid integration of variable production from photovoltaics.
- **DIGITALER LICHTBOGENDETEKTOR FÜR PV-WECHSELRICHTER** R&D (3) 3.1.2
- Lead: BFH Burgdorf Funding: KTI
- Contact: Muntwyler Urs urs.muntwyler@bfh.ch Period: 2012
- Abstract: In diesem Projekt besteht die Innovation in der Entwicklung eines digitalen Lichtbogen-Detektionsalgorithmus und der Industrialisierung eines Lichtbogenendetektors für dessen Integration in einen Wechselrichter.

- **RESOURCE- AND COST-EFFECTIVE INTEGRATION OF RENEWABLES IN EXISTING HIGH-RISE BUILDINGS (COST-EFFECTIVE)** R&D (4) 3.1.2
- Lead: Emmer Pfenninger Partner AG Funding: EU
- Contact: Emmer Andreas andreas.emmer@eppag.ch Period: 2008–2012
- Abstract: The main focus of the project is to convert facades of existing “high-rise buildings” into multifunctional, energy gaining components. This goal will be achieved by: development of integrated building concepts, development of new multi-functional façade components and development of new business and cost models.
- **POTENTIALANALYSE HYBRIDE PV-ANLAGE MIT THERMISCHER NUTZUNG** R&D (4) 3.1.2
- Lead: NTB Funding: KTI
- Contact: Bertsch Stefan stefan.bertsch@ntb.ch Period: 2011–2012
- Abstract: Es soll eine Potenzialanalyse eines hybriden Sonnenkollektors zur parallelen Erzeugung von Strom über Photovoltaik und Warmwasser über Solarthermie erstellt werden. Der Fokus liegt in einem Mehrfachnutzen einer PV-Anlage mit einer Erdwärmesonden-Beheizung.
- **NORMENARBEIT FÜR PV SYSTEME** WTT (4) 3.1.2
- Lead: Basler & Hofmann AG Funding: BFE
- Contact: Toggweiler Peter peter.toggweiler@baslerhofmann.ch Period: 2007–
- Abstract: Normen sind ein wichtiges Instrument zur Qualitätssicherung sowie zum sicheren und zuverlässigen Betrieb von PV-Anlagen. Das Projekt umfasst den Schweizer Beitrag zu den entsprechenden Arbeiten im IEC Technischen Komitee 82.
- **SCHWEIZER BEITRAG IEA PVPS TASK 1 – EXCHANGE AND DISSEMINATION OF INFORMATION ON PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEMS** R&D (5) 3.1.2
- Lead: Nova Energie GmbH Funding: BFE
- Contact: Hüsser Pius pius.huesser@novaenergie.ch Period: 2012
- Abstract: IEA PVPS Task 1 befasst sich mit Informationsaufgaben zum Stand der Photovoltaik in den Mitgliedsländern des IEA PVPS Programms. Dazu leistet dieses Projekt den Schweizer Beitrag, insbesondere zur Entwicklung von Industrie und Markt sowie des regulatorischen Kontextes.
- **SCHWEIZER BEITRAG IEA PVPS TASK 12 – PV ENVIRONMENTAL HEALTH & SAFETY ISSUES** R&D (5) 3.1.2
- Lead: Treeze GmbH Funding: BFE
- Contact: Frischknecht Rolf frischknecht@treeze.ch Period: 2012
- Abstract: IEA PVPS Task 12 befasst sich mit Umweltaspekten der Photovoltaik ausgehend von Analysen in den Mitgliedsländern des IEA PVPS Programms. Dazu leistet dieses Projekt den Schweizer Beitrag, insbesondere zur Lebenszyklusanalyse (LCA) von PV-Systemen.
- **SCHWEIZER BEITRAG IEA PVPS TASK 13 – PERFORMANCE AND RELIABILITY OF PV SYSTEMS** R&D (5) 3.1.2
- Lead: TNC Consulting AG Funding: IEA PVPS Pool
- Contact: Nordmann Thomas nordmann@tnc.ch Period: 2011–2012
- Abstract: IEA PVPS Task 13 befasst sich mit Performance und Zuverlässigkeit von PV-Komponenten und PV-Anlagen in den Mitgliedsländern des IEA PVPS Programms. Mit diesem Projekt wird der Schweizer Beitrag zu diesem neuen internationalen Vorhaben vorbereitet.
- **SCHWEIZER BEITRAG IEA PVPS TASK 14 – HIGH PENETRATION OF PV SYSTEMS IN ELECTRICITY GRIDS (SWISS CONTRIBUTION)** R&D (5) 3.1.2
- Lead: Planair Funding: IEA PVPS Pool
- Contact: Renaud Pierre pierre.renaud@planair.ch Period: 2010–2014
- Abstract: The main purpose of Task 14 is to analyze the role of grid connected PV as an important source in electric power systems on a high penetration level where additional efforts may be necessary to integrate the dispersed generation in an optimum manner. The aim of these efforts is to reduce the technical barriers to achieve high penetration levels of distributed renewable systems on the electric power system.

● **SCHWEIZER BEITRAG IEA SOLAR HEATING & COOLING PROGRAMME, TASK 46 – SOLAR RESOURCE MANAGEMENT**

R&D (5) 3.1.2

Lead: Meteotest

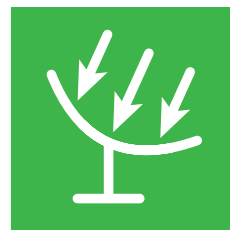
Funding: BFE

Contact: Kunz Stefan

stefan.kunz@meteotest.ch

Period: 2005–2010

Abstract: In the framework of IEA Solar Heating and Cooling (SHC) Task 46, Meteotest investigates the possibilities and quality of global radiation forecast, the trend of recent global radiation data and distribution of atmospheric aerosols.



Pierre Renaud

Solaire industriel à haute température



Projet de la Fromagerie de Saignelégier : Tête de Moine à l'appui solaire

L'installation de la Fromagerie de Saignelégier a été mise en service et inaugurée le 19 octobre 2012. Les concentrateurs paraboliques linéaires devraient pouvoir produire l'équivalent de 300'000 kWh de chaleur pour une surface de 630 m² (source : Institut für Solartechnik (SPF), Rapperswil).

Introduction

Le soleil fournit 220 fois plus d'énergie que nous n'en utilisons. Une surface terrestre de 1 mio. km² suffirait pour subvenir aux besoins mondiaux en énergie par du solaire thermique à concentration. Cela représente 0,2 % de la surface terrestre totale.

Le solaire industriel à haute température présente différentes technologies qui ont toutes un rôle important à jouer, que ce soit dans la production d'énergie thermique, d'électricité ou de carburants. Les trois principales filières représentées dans le programme de recherche sont la thermochimie solaire, le solaire thermique dans les processus industriels et les centrales solaires thermiques pour la production d'électricité (concentrating solar power, CSP). Les avantages de ces technologies reposent avant tout sur la possibilité de stocker et de transporter l'énergie solaire. C'est un atout majeur permettant de répondre aux pics de consommation d'énergie et d'assurer une production continue, de jour comme de nuit. De plus, il ne faut pas négliger d'autres avantages, comme la possibilité de combinaison avec d'autres agents énergétiques et la possibilité de réaliser des centrales multi-usages. Cependant, des progrès restent à faire, tant sur le plan scientifique que sur le plan économique. Les coûts restent trop élevés et la rentabilité à améliorer.

Pour la thermochimie solaire, les perspectives sont prometteuses pour la fourniture de services énergétiques propres, efficaces et durables. Cette filière représente une part importante dans le développement du solaire industriel à haute température. La recherche mise en priorité sur la production de carburants (hydrogène, gaz de synthèse).

La chaleur solaire pour les processus industriels n'est quant à elle pas encore très développée, contrairement au solaire thermique pour le chauffage des bâtiments et de l'eau chaude sanitaire (ECS). En effet, moins de 100 systèmes (env. 24 MW_{th}) sont en service dans le monde, qui sont pour la plupart de nature expérimentale et de relativement petite taille [1]. Le potentiel de développement est cependant important, puisqu'une grande partie de la demande d'énergie provient du secteur industriel pour des températures souvent inférieures à 250 °C.

Dans le domaine des CSP, l'AIE prévoyait en 2010 (CSP Technology Roadmap [2]) que la capacité installée atteindrait plus de 1'000 GW en 2050 pour 4'050 TWh/an d'électricité produite (env. 11 % de la production d'électricité mondiale). Des études publiées entre 2009 et 2010 par l'AIE, Greenpeace International et The

European Solar Thermal Electric Association (ESTELA) prédisaient également qu'entre 84 et 147 GW pourraient être réalisées à l'horizon 2020. Cependant, comme le cite un article récemment publié dans la revue Photon International [3], ces estimations se sont révélées trop optimistes, le développement plus rapide du photovoltaïque ayant entraîné une augmentation de l'écart de prix par rapport à la technologie du solaire à concentration. Les experts ont dû revoir leurs scénarios. L'AIE dans son rapport "Medium-term renewable energy market" [4] prévoit ainsi 3 GW installés à fin 2012, puis une augmentation de 1,5 GW par an, pour atteindre 11 GW en 2017. Fin 2012, la capacité mondiale opérationnelle atteint 2,8 GW, 2,9 GW sont en construction et 7,3 GW sont en développement. L'Espagne est en tête avec 38 installations en service (2,0 GW), suivi par les USA avec 18 installations en service (0,5 GW).

Classification de l'AIE : 3.1.3 Solar thermal power and high-temp. applications

Classification Suisse: 2.1.3 Ind. Solarenergienutzung

Centres de gravité du programme

Le programme de *recherche Solaire industriel à haute température* est structuré en trois axes principaux : la thermochimie solaire, le solaire thermique dans les processus industriels et les centrales solaires thermiques pour la production d'électricité (concentrating solar power, CSP).

Ces applications permettent d'atteindre des températures comprises entre 90 °C pour certains processus industriels et 2'000 °C pour la thermochimie solaire. La recherche dans la thermochimie solaire s'oriente principalement vers la production de zinc par cycle thermochimique ZnO/Zn, qui est menée par le Paul Scherrer Institut (PSI) à Villigen.

Au niveau de la chaleur solaire dans les processus industriels, les points clés de la recherche sont l'engineering et l'implémentation. Le centre de compétence CST (Concentrating Solar Thermal Energy) du SPF à la HES de Rapperswil est un pilier dans ce domaine. Il permet la mise en valeur et la diffusion des compétences, mais fait également le lien entre les différents projets pilote&démonstration (P&D) en cours.

Dans le domaine des CSP, la recherche est principalement axée sur la modélisation, la simulation, les mesures et l'analyse de différents prototypes d'absorbeurs à air. L'objectif est avant tout d'optimiser l'échange de chaleur et de réduire les pertes en pression. Les projets en cours visent également le développement d'un système de stockage de l'énergie thermique.

Revue et évaluation 2012

Dans le domaine de la thermochimie solaire, les activités du PSI pour la production de zinc et d'hydrogène se sont poursuivies en 2012. Le réacteur solaire pilote de 100 kW pour la dissociation thermique du ZnO a été modifié et optimisé en vue de la seconde campagne de mesures menée en juin-juillet 2012 au Four Solaire de 1 MW (MWSF) de PROMES-CNRS à Odeillo en France. Cette expérience opérationnelle souligne les besoins R&D et oriente le développement d'une installation thermochimique solaire pour la production d'hydrogène, de gaz de synthèse et de carburants liquides.

Les projets P&D pour la chaleur solaire dans les processus industriels ont apporté une contribution importante pour l'acquisition d'expérience et la collecte de données. Dans l'ensemble, les résultats sont satisfaisants et prometteurs. La première installation mise en service a débouché sur une extension à d'autres sites. Des adaptations nécessaires ont pu être mises en évidence, tant du point de vue de la planification que sur les aspects techniques. Le centre de compétence CST du SPF a pu mettre en valeur les mesures par une analyse standardisée des données.

Au niveau des CSP, les activités de la société Airlight (cf. www.airlightenergy.com) se sont poursuivies, tant pour le développement d'un absorbeur à air, que pour la réalisation d'un nouveau prototype pour le système de stockage de la chaleur sur lit de galets. La première installation industrielle pilote est en construction à Ait Baha au Maroc. Elle fournira de l'électricité à une cimenterie, tout en intégrant le système de récupération de chaleur déjà existant.

Perspectives

Le PSI va poursuivre ses activités dans la thermochimie solaire. Alors que le projet P&D avait déjà été prolongé jusqu'en avril 2013, une extension de deux ans est prévue jusqu'en 2015. De nouvelles modifications et optimisations du réacteur solaire de 100 kW sont nécessaires. Une troisième campagne de mesures, prévue en 2014, devrait permettre de démontrer la fiabilité sans interruption de son fonctionnement et d'optimiser les performances. Les objectifs sont d'obtenir plus de 50 % de zinc suite à la dissociation du ZnO et de parvenir à un rendement de conversion de l'énergie solaire en produit chimique proche dépassant 10 %.

Dans le domaine de la chaleur solaire dans les processus industriels, la dernière installation devrait être mise en service en début d'année chez Cremo à Villars-sur-Glâne (Fribourg). L'accent sera mis sur le monitoring des nouvelles installations, ainsi que sur l'analyse des données, afin d'avoir des résultats pertinents pour chacune des technologies utilisées. Le centre de compétences CST du SPF a un grand rôle à jouer dans cette partie.

Les activités d'Airlight dans les CSP vont se poursuivre dans le but d'améliorer les produits existants, tout en diminuant leur coût, et d'augmenter les performances du système. De plus, des tests pourront être réalisés à une échelle industrielle grâce à l'installation au Maroc.

Highlights Recherche et Développement

Solar production of Zinc and Hydrogen

La thermochimie solaire, en particulier le cycle ZnO/Zn est l'un des processus thermochimiques les plus prometteurs pour le stockage de l'énergie solaire. Dans ce domaine, l'OFEN cofinance les projets du laboratoire de technologie solaire du PSI « Solar Production of Zinc and Hydrogen – Reactor Optimisation for Scale-Up » (R&D) et « Towards Industrial Solar Production of Zinc and Hydrogen - 100 kW Solar Pilot Reactor for ZnO Dissociation » (P&D).

L'objectif principal de ces projets de recherche est d'optimiser la technologie du réacteur solaire permettant la dissociation endothermique de l'oxyde de Zinc (ZnO) en zinc et oxygène (Zn/O_2) et de démontrer son intégration et son application au niveau d'une installation pilote. Les résultats de ces recherches vont permettre de développer les possibilités de stockage de l'énergie solaire en tant que produits chimiques (zinc) ou de carburants (hydrogène ou gaz de synthèse). Cela offre de nouvelles solutions durables au problème mondial actuel de dépendance aux combustibles fossiles.

En 2011, la principale concrétisation du PSI a été la fabrication et les premiers tests du réacteur solaire pilote de

100 kW pour la dissociation du ZnO. La faisabilité technique avait préalablement été démontrée à l'aide d'un prototype de 10 kW. L'installation pré-assemblée et tous ses composants ont été envoyés à deux reprises à Odeillo en France au four solaire de 1 MW (MWSF) de PROMES-CNRS pour des campagnes de mesures.

Pour les deux campagnes, les différents éléments ont été assemblés sur la plateforme expérimentale dans la tour solaire. Des tests de fonctionnalité de chaque composant du système ont été réalisés (eau de refroidissement, conduites d'approvisionnement et d'évacuation du gaz, connexions électriques/électroniques, contrôle de processus et systèmes d'acquisition des données). Dans les deux cas, la durée des mesures a été de 6–7 semaines pour onze expérimentations, avec plus de 60 heures d'ensoleillement enregistrées, chaque expérimentation durant entre trois et neuf heures. Les températures atteintes lors de ces mesures étaient comprises entre 530 et 1'670 °C.

La première campagne de mesures a eu lieu en juin–juillet 2011. Elle a permis de réaliser des premières expériences opérationnelles de valeur avec le réacteur. Tous les systèmes de l'installation ont pu être testés et qualifiés. Cette première campagne a surtout permis de déter-

miner les modifications et améliorations à apporter pour la seconde campagne. Sur cette base, le réacteur a été rénové, modifié et optimisé, en particulier par :

- la conception, la fabrication et l'installation d'un nouveau fond de cavité avec une structure composée de briques réfractaires résistant aux chocs thermiques et d'une isolation haute température;
- la réparation de parties endommagées et l'amélioration de la distribution d'eau de refroidissement;
- l'application d'un nouveau revêtement céramique multi-couches sur le cône avant;
- l'amélioration du contrôle de processus et des systèmes d'acquisition des données.

La seconde campagne de mesures a eu lieu en juin–juillet 2012. Une maintenance et l'analyse des résultats étaient prévus entre les expérimentations. L'objectif était d'atteindre un rendement de conversion « énergie solaire-produit chimique » proche de 10 %. La cavité du nouveau réacteur a montré une très bonne stabilité opérationnelle et aucune dégradation n'était visible à la fin de la campagne. Cependant, le poids supplémentaire des matériaux réfractaires a entraîné une contrainte mécanique sur les parties de la coque aluminium. Cela a causé une fuite d'air dans la chambre de réaction, produisant un impact négatif sur la réaction chimique. Une modification importante de la coque du réacteur s'impose pour assurer un fonctionnement fiable du réacteur. Malgré tout, il a été démontré qu'une teneur en zinc supérieure à 60 % peut être atteinte. Bien que les objectifs principaux n'aient pas tous été atteints, cette seconde campagne s'est avérée un succès et une grande avancée vers la mise en évidence d'un processus industriel viable pour la production solaire de zinc et d'hydrogène.

Déjà prolongées jusqu'en avril 2013, les activités de ce projet vont se poursuivre jusqu'en 2015, avec un cofinancement de l'OFEN pour la partie P&D uniquement. De nouvelles modifications et optimisations du réacteur solaire sont nécessaires, ainsi que du système d'ana-

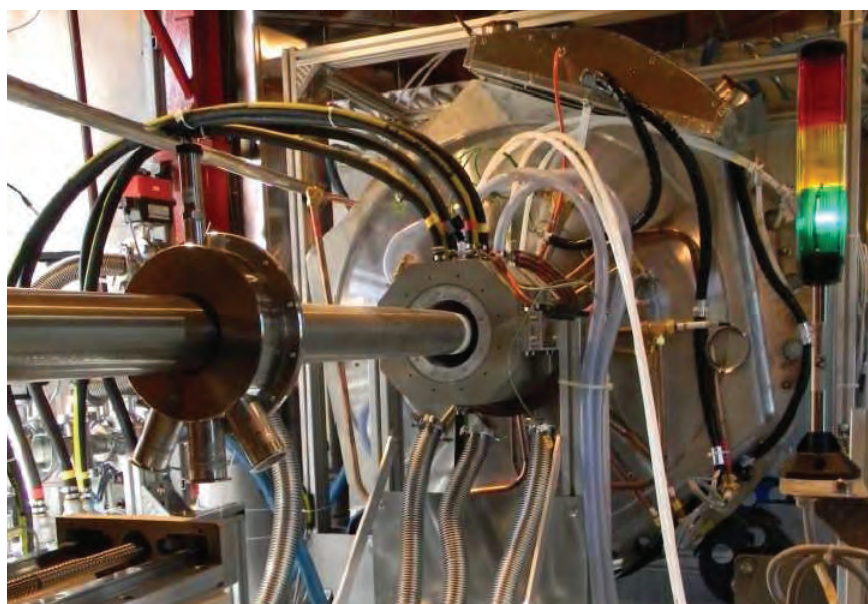


Figure 1 : Partie arrière du 100 kW-réacteur développé par le PSI pour la dissociation solaire thermique du ZnO (Source : PSI).

lyse du gaz. Une troisième campagne de mesures à Odeillo est prévue en 2014. Elle devrait permettre de démontrer la fiabilité sans interruption de son fonctionnement et d'optimiser les performances. Les objectifs sont d'obtenir plus de 50 % de zinc suite à la dissociation du ZnO et de parvenir à un rendement de conversion de l'énergie solaire en produit chimique dépassant 10 %.

Les résultats des campagnes ont été communiqués lors des conférences SolarPACES de Granada (Espagne) et de Marrakech (Maroc). De plus, la publication de trois documents dans des revues spécialisées est prévue :

- Validation du modèle de transfert de chaleur transitoire avec les données expérimentales du réacteur prototype de 10 kW testé au PSI;
- Conception et expérimentation de l'installation solaire pilote de 100 kW;
- Validation du modèle par l'utilisation des données expérimentales.

Innovative collectors for solar thermal power generation

Depuis 2007, l'OFEN cofinance les projets d'Airlight Energy, qui ont été présentés à plusieurs reprises dans les rapports précédents. Ces projets visent le développement d'un collecteur solaire thermique parabolique linéaire novateur



Figure 2 : Photo montage d'un parc CSP d'Airlight Energy (source : Airlight Energy).

pour la production d'électricité (CSP), ainsi que d'un système de stockage de chaleur.

Des résultats intéressants ont déjà été présentés : concept de collecteur avec structure béton renforcée, concept novateur et breveté pour un miroir multi-arcs quasi parabolique pneumatique, utilisation de l'air comme fluide caloporteur, système de stockage de la chaleur par lit de galets. Des prototypes à l'échelle 1:1 ont permis d'analyser, de simuler et d'évaluer de manière critique les performances des installations.

Les activités vont se poursuivre en 2013. L'objectif premier est d'optimiser la conception actuelle, afin d'en améliorer la performance, la robustesse et la fiabilité. Des investigations vont être me-

nées pour de nouveaux concepts, tant au niveau du récepteur, qu'au niveau des fluides caloporteurs, de l'isolation thermique et du système de stockage de la chaleur. Dans le même temps, des recherches avancées devraient permettre de simplifier le système et d'en réduire les coûts, tout en augmentant le rendement global de l'installation.

La première installation industrielle d'Airlight est en cours de construction à Ait Baha au Maroc. Un accord a été signé en 2011 avec le producteur de ciment Italcementi Group. La mise en service est prévue en mars 2013. D'une puissance de 3 MW, l'installation pilote fournira de l'énergie à Italcementi, tout en intégrant le système de récupération de chaleur déjà existant.

Projets Pilotes et de Démonstration

Chaleur solaire pour des processus industriels

L'installation de Fischer Kerzen AG [5] a été mise en service en mars 2010. Des collecteurs à tubes sous vide (SRB Energy) ont été posés sur la toiture de la fabrique de bougies à Root (Lucerne), pour une surface de 81 m². Le niveau de température permettant de chauffer la paraffine se situe entre 65 et 110 °C. Dès le début de l'exploitation, il s'est avéré que les collecteurs fournissaient

des températures trop élevées. Des mesures ont dû être prises pour pallier à ce problème de surchauffe [6]. La planification hydraulique a été modifiée, permettant l'évacuation du surplus de chaleur au travers de consommateurs de chaleur supplémentaires. Après maintenant plus d'une année d'exploitation normale, des mesures pertinentes ont pu être relevées. Entre mars 2011 et mars 2012, ce sont 34'600 kWh qui ont pu être fournis. En optimisant encore le système, l'installation devrait pouvoir produire

40'000 kWh/an, alors que le potentiel initial avait été évalué à 47'000 kWh/an. Des discussions avec des spécialistes de la branche (dont le SPF) ont permis de conclure que le fonctionnement de l'installation est bon et que les estimations avaient été trop optimistes.

La Lätaria Engiadinaisa SA (LESA), située à Bever (Grisons) est la laiterie se trouvant à la plus haute altitude en Europe (1'706 m). L'installation solaire réalisée par ewz [7] compte 115 m² de concen-



Figure 3 : Installation de Fischer Kerzen à Root dans le canton de Lucerne (Source : Fischer Kerzen AG).



Figure 4 : Installation de Lalaria Engiadinaisa SA (LESA) à Bever dans le canton des Grisons (Source : ewz).

trateurs paraboliques linéaires (NEP Solar Poly Trough 1200), pour des températures d'exploitation comprises entre 150 et 180 °C. Le but est de produire une partie de la vapeur nécessaire au traitement du lait. L'installation a été mise en service en octobre 2011 pour une première phase de test, alors que le mode automatique a démarré en février 2012, après résolution de problèmes mineurs dans le système (capteurs et circuit hydraulique). Les mesures n'ont pu être exploitées qu'à partir de juin 2012, d'autres problèmes étant apparus au niveau d'un capteur et du compteur de chaleur. Alors que la production attendue était de 60'000 kWh/an, les différents événements perturbateurs n'ont permis de produire que 32'000 kWh durant la première année d'exploitation. Les mesures sont donc encore en cours, afin d'obtenir des données pertinentes sur un an. De plus, une optimisation du système permettant de faire glisser la neige des collecteurs reste à faire. Ce projet permet d'étudier et d'optimiser une installation solaire thermique haute température dans une région alpine soumise à de basses températures et à une quantité non négligeable de neige. Cela lui a valu le prix solaire suisse 2012 dans la catégorie "installations".

La société Zehnder à Gränichen (AG) a lancé un projet visant à réduire de manière significative la consommation de gaz de pétrole liquéfié (GLP) dans ses processus industriels de laquage, nécessitant une grande quantité de chaleur [8]. Elle a donc mis en service en juillet 2012 une installation de 400 m² de col-

lecteurs à tubes sous vide (Ritter) sur le toit de sa nouvelle halle de production et logistique. Dès sa mise en service, l'installation a pu fournir de l'eau chaude à 110 °C au nouveau système de chauffage, permettant de soutenir deux chaudières. Le potentiel énergétique a été estimé à 158'000 kWh/an. Les mesures permettant d'analyser la production réelle sur un an doivent encore être réalisées.

La Fromagerie de Saignelégier (Jura) a mis son installation en service le 19 octobre 2012, en même temps que l'inauguration de l'extension du site, avec un retard d'environ six mois [9]. Ce sont 460 m² de concentrateurs paraboliques linéaires (NEP Solar Poly Trough 1800) qui ont été posés en toiture. Ce type de collecteur a reçu le certificat selon EN 12975-2:2006. L'installation étant en-

core en phase de test et de rodage à fin 2012, le monitoring des données n'a pas encore abouti à des résultats exploitables. La température d'exploitation attendue est de 130 °C pour un potentiel énergétique estimé à 300'000 kWh/an.

Le projet de l'entreprise Cremo SA vise à installer 581 m² de concentrateurs paraboliques linéaires (NEP Solar Poly Trough 1800) sur le toit du frigo de l'usine à Villars-sur-Glâne (Fribourg) [10]. L'objectif est de produire de l'eau à 150 °C pour le processus de stérilisation de la crème à café. Le potentiel énergétique est estimée à 197'000 kWh/an. A l'origine, la mise en service était prévue en mai 2012, mais des événements et des travaux imprévus, ainsi que des conditions météorologiques non favorables n'ont pas permis de tenir ce délai qui a été repoussé à mars 2013.



Figure 5 : Installation de Zehnder (Source : Zehnder)

Collaboration Nationale

Le 1^{er} novembre 2012 a eu lieu le symposium national du programme de *recherche Solaire industriel à haute température*. Il avait pour titre "Training and education activities on concentrating solar technologies in Europe and Switzerland". L'objectif premier était de créer des interactions entre des différents acteurs. Au programme, un tour d'horizon de la formation et de l'apprentissage dans le domaine de l'énergie solaire industrielle à haute température, en Europe et en Suisse. Une discussion a également eu lieu sur la valeur ajoutée d'un centre de formation avec une installation tour solaire en Suisse.

Dans le domaine de la thermochimie solaire, le Laboratoire de technologie solaire du PSI travaille conjointement avec le Département pour les énergies renouvelables de l'ETH Zürich. Dans le cadre de plusieurs projets, le PSI collabore également avec les sociétés suivantes: Bühler AG (Uzwil), ALE Airlight Energy SA (Biasca), Alstom Power Service (Baden-Dättwil), Alstom Power Systems (Birr) et Holcim (Holderbank). Des collaborations et synergies sont aussi en

place avec les laboratoires de recherche suisses suivants: Empa Dübendorf – Laboratory for Solid State Chemistry and Catalysis, EPF Lausanne – Industrial Energy System Laboratory et ETH Zürich – Particle Technology Laboratory.

Dans le domaine de la chaleur solaire pour les processus industriels, le SPF collabore avec Energie Solaire SA (Sierre) pour la partie "composants", avec NEP Solar AG (Zürich) pour la partie "collecteurs", ainsi qu'avec les industries porteuses des projets P&D pour la partie "systèmes" (cf. chapitre "Production de chaleur solaire pour les processus industriels"). Dans le cadre des projets P&D, des collaborations avec les sociétés suivantes ont été mises en place: BE Netz (Lucerne), SRB Energy (CERN Genève) et NEP Solar AG (Zürich).

Dans le domaine des CSP, Airlight Energy collabore avec l'Université professionnelle de la Suisse italienne (SUPSI-DTI-ICIMSI), ainsi qu'avec l'Institut des technologies énergétiques de l'ETH Zürich.

Collaboration Internationale

Dans le domaine de la thermochimie solaire, une coopération internationale du PSI est en cours dans le cadre de :

- AIE SolarPACES Implementing Agreement (Task II – Solar Chemistry Research);
- EERA – European Energy Research Alliance;
- IPHE – International Partnership for the Hydrogen Economy (Projet: Solar driven high temperature thermochemical production of hydrogen);
- SFERA – Solar Facilities for the European Research Area (Projet UE);
- SOLLAB – Alliance of European Laboratories on solar thermal concentrating systems;

- STAGE-STE (projet UE, 2013) – Scientific and Technological Alliance for Guaranteeing the European Excellence in Concentrating Solar Thermal Energy;
- Strategic Alliance between PSI and CIEMAT (Spain) – Roadmap to Solar Hydrogen Production;
- SynPet (Industrial Project with PDVSA) – Solar steam-gasification of petroleum coke (petcoke);
- TCSPower (Projet UE) – Thermo-chemical energy storage for concentrated solar power plants.

Dans le domaine des CSP, un accord pour la construction en 2012–2013 d'une première installation industrielle pilote à Ait Baha (Maroc) a été signé en 2011 entre Airlight Energy et le producteur de ciment Italcementi Group.

References

[1] <http://task49.iea-shc.org>

[2] International Energy Agency (IEA): *Technology Roadmap - Concentrating Solar Power*, OECD/IEA (2010)

[3] Photon International: *CSP losing steam? (12–2012)*

[4] International Energy Agency (IEA): *Medium-term renewable energy market (2012)*

[5] M. C. Barbato et al.: *SolAir-2, SFOE Final report (2012)*

[6] M. Lütolf: *Kerzenfabrik Fischer AG, Root - Prozesswärme mit Vakuumröhrenkollektoren, BFE Schlussbericht (2012)*

[7] M. Feuerstein: *V0538 Bever, Lesa / Solare Prozesswärmeerzeugung - ewz Pilotanlage, BFE Zwischenbericht (2012)*

[8] H. Schürch et J. Lee: *Integration solarer Prozesswärme in eine Lackieranlage, BFE Schlussbericht (2012)*

[9] T. Pesenti et J.P. Brahier: *Tête de Moine à l'appui solaire - Rapport annuel OFEN (2012)*

[10] P. Achermann: *Projet CST pilot plant at Cremo, Rapport annuel OFEN (2012)*

Projets en cours et terminés dans l'année de référence

(* Classification de l'AIE)

- SOLAIR - INNOVATIVE SOLAR COLLECTORS FOR EFFICIENT AND COST-EFFECTIVE SOLAR THERMAL POWER GENERATION**

Lead: ALE Airlight Energy SA

Contact: Andrea Pedretti andrea.pedretti@airlightenergy.com

Abstract: The project aims at the engineering investigation and design of a breakthrough concept of a solar collector system for efficient and cost-effective solar thermal power generation. The novel collector technology exploits a revolutionary air-inflated reflective structure for concentrating solar radiation. Reducing drastically the investment costs of the collector field, the solar thermal plant promises to be highly economic competitive.

R&D 3.1.3*

Funding: BFE

Period: 2007–2012

- TOWARDS INDUSTRIAL SOLAR PRODUCTION OF ZINC AND HYDROGEN – REACTOR OPTIMIZATION AND SCALE-UP**

Lead: PSI

Contact: Anton Meier anton.meier@psi.ch

Abstract: Die endotherme solarthermische Dissoziation von Zinkoxid in Zink und Sauerstoff wird untersucht. In diesem Projekt wird der Hochtemperatur-Solarreaktor für den zuverlässigen und effizienten Betrieb bei Temperaturen über 2000 K (100 kW Prototypreaktor) optimiert.

R&D 3.1.3

Funding: BFE

Period: 2007–2013

- SOLAR CO₂-SPLITTING USING REDOX REACTIONS**

Lead: ETHZ

Contact: Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch

Abstract: Solar production of syngas from H₂O and CO₂ is examined via two-step thermochemical cycles based on redox reactions such as Zn/ ZnO and FeO/Fe₃O₄: Endothermic step (thermal dissociation of the metal oxide using concentrated solar radiation) and exothermic step (reaction of the metal or reduced metal oxide with a mixture of H₂O and CO₂ yielding syngas, together with the initial form of the metal oxide that is recycled to the first step)

R&D 3.1.3

Funding: SNF

Period: 2009–2011

- TCSPower – THERMO-CHEMICAL ENERGY STORAGE FOR CONCENTRATED SOLAR POWER PLANTS**

Lead: PSI

Contact: Christian Wieckert christian.wieckert@psi.ch

Abstract: The overall objective of the project is to realize a new, efficient, reliable, and economic thermo-chemical energy storage (TCS) system for concentrated solar power plants, which has the capability to contribute significantly to further cost reduction of regenerative electricity production. This will be achieved by applying reversible gas-solid reactions: dissociation of calcium hydroxide and application of manganese oxide redox reactions.

R&D 3.1.3

Funding: EU FP7

Period: 2011–2014

- ENEXAL – SOLAR PRODUCTION OF ALUMINUM BY CARBOTHERMAL REDUCTION OF ALUMINA**

Lead: ETHZ

Contact: Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch

Abstract: The main goal of this project is to provide primary aluminium industry with "green" innovative technological and economical solutions, focusing on the significant improvement of energy and exergy efficiencies of the production process, the substantial reduction of GHG emissions and the complete elimination of the solid wastes.

R&D 3.1.3

Funding: EU FP7

Period: 2010–2014

- HITECO – HIGH-TEMPERATURE EFFICIENT COLLECTOR FOR CONCENTRATING SOLAR POWER APPLICATIONS**

Lead: ETHZ

Contact: Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch

Abstract: This project aims to increase the operating temperature of the heat transfer fluid to 600 °C and thereby raise the thermal efficiency of the power cycle driven from it. The current state-of-the-art designs are limited to 400 °C and experience a dramatic efficiency drop at higher temperature. Increasing the efficiency of CSP plants this will contribute to reduce the produced electricity cost and to accelerate the implementation of this technology.

R&D 3.1.3

Funding: EU FP7

Period: 2010–2013

- SOLAR-JET – SOLAR CHEMICAL REACTOR DEMONSTRATION AND OPTIMIZATION FOR LONG-TERM AVAILABILITY OF RENEWABLE JET FUEL**

Lead: ETHZ

Contact: Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch

Abstract: The aim of the SOLAR-JET project is to demonstrate a carbon-neutral path for producing aviation fuel, compatible with current infrastructure, in an economically viable way.

R&D 3.1.3

Funding: EU FP7

Period: 2011–2014

● **SFERA – SOLAR FACILITIES FOR THE EUROPEAN RESEARCH AREA**

R&D 3.1.3

Lead:	PSI	Funding:	EU FP7
Contact:	Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch	Period:	2009–2013
Abstract:	This EU-funded research project aims to boost scientific collaboration among the leading European research institutions in solar concentrating systems, offering European research and industry access to the best research and test infrastructures and creating a virtual European laboratory.		

● **SYNPET - SOLAR THERMOCHEMICAL APPLICATION FOR PRODUCTION OF SYNGAS FROM HEAVY CRUDE OIL**

R&D 3.1.3

Lead:	PSI	Funding:	others
Contact:	Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch	Period:	2003–2012
Abstract:	The solar steam-gasification of petroleum coke (petcoke) is a hybrid thermochemical process that converts intermittent solar energy into a storable and transportable chemical fuel. At the same time, petcoke is solar-upgraded to a cleaner fluid fuel for electricity generation in highly efficient combined cycles or fuel cells.		

● **SOLSYN - SOLAR FUELS FOR CEMENT MANUFACTURING**

R&D 3.1.3

Lead:	PSI	Funding:	KTI
Contact:	Christian Wieckert christian.wieckert@psi.ch	Period:	2007–2012
Abstract:	Holcim, PSI and ETHZ brought competent resources to perform long-term oriented research to explore the use of concentrated solar energy for cement manufacturing. Solar steam-gasification of carbonaceous materials makes use of concentrated solar energy to convert solid feedstocks such as coal, biomass or carbon-containing wastes into high-quality synthesis gas (mainly H ₂ and CO), that could be used for substituting fossil fuels in the cement kiln.		

● **ALSTOM - SOLAR-DRIVEN COMBINED CYCLES**

R&D 3.1.3

Lead:	PSI	Funding:	others
Contact:	Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch	Period:	2008–2011
Abstract:	Project aimed at the engineering development of a novel solar receiver for heating compressed air to the entrance conditions of a gas turbine, as part of a combined cycle for power generation. A solar tower concentrating system will be used for electricity generation based on a Brayton-Rankine combined cycle.		

● **AIRLIGHT – SOLAR RECEIVER DEVELOPMENT FOR CONCENTRATED SOLAR POWER (CSP) SYSTEMS**

R&D 3.1.3

Lead:	ETHZ	Funding:	BFE
Contact:	Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch	Period:	2008–2011
Abstract:	Project aimed at the design, fabrication, testing, modeling & validation, and optimization of a solar receiver coupled with ALE's trough concentrator, for a Rankine-based electricity generation system.		

● **AIRLIGHT – HIGH-TEMPERATURE THERMAL STORAGE SYSTEM FOR CONCENTRATING SOLAR POWER**

R&D 3.1.3

Lead:	ETHZ	Funding:	BFE
Contact:	Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch	Period:	2010–2013
Abstract:	The project is aimed at the design, fabrication, testing, modeling & validation, and optimization of a thermal storage system.		

● **INPHOCUS – INFLATED PHOTOVOLTAIC ULTRA-LIGHT MIRROR CONCENTRATORS**

R&D 3.1.3

Lead:	ETHZ	Funding:	KTI
Contact:	Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch	Period:	2010–2013
Abstract:	The goal of the InPhoCUS project is to realize a commercial, cost-competitive, innovative concentrating photovoltaic (CPV) system. The project will cover the design, construction and performance testing of the innovative system. The concentrator will be equipped with unconventional pneumatic multilayer Mylar mirrors; it will have an innovative fiber-reinforced concrete structure and an original tilting mechanism to track the sun.		

● TOMOGRAPHY-BASED DETERMINATION OF EFFECTIVE HEAT/MASS TRANSPORT PROPERTIES FOR COMPLEX MULTI-PHASE MEDIA

R&D 3.1.3

Lead:

ETHZ

Funding:

SNF

Contact:

Aldo Steinfeld

aldo.steinfeld@ethz.ch

Period:

2010–2012

Abstract: Development of a computer tomography based methodology for the determination of the effective heat/mass transport properties of complex porous materials. The focus is on porous materials applied in high-temperature solar thermal and thermochemical processes for producing power and fuels.

● BIOMASS (ALGAE) GASIFICATION USING CONCENTRATED SOLAR ENERGY

R&D 3.1.3

Lead:

ETHZ

Funding:

SER

Contact:

Aldo Steinfeld

aldo.steinfeld@ethz.ch

Period:

2010–2013

Abstract: The goal of this project is to transform microalgae into clean, CO₂-neutral chemical fuels. Concentrated solar radiation is used as the energy source of high-temperature process heat for the gasification of microalgae into a high-quality syngas (CO + H₂). Syngas can be further processed to liquid fuels for the power and transportation sector.

● CONCENTRATED SOLAR THERMOELECTRIC CONVERSION

R&D 3.1.3

Lead:

ETHZ

Funding:

others

Contact:

Aldo Steinfeld

aldo.steinfeld@ethz.ch

Period:

2010–2013

Abstract: The goal of this project is to transform microalgae into clean, CO₂-neutral chemical fuels. Concentrated solar radiation is used as the energy source of high-temperature process heat for the gasification of microalgae into a high-quality syngas (CO + H₂). Syngas can be further processed to liquid fuels for the power and transportation sector.

● CO₂ CAPTURE FROM ATMOSPHERIC AIR BY TEMPERATURE-VACUUM SWING ADSORPTION

R&D 3.1.3

Lead:

ETHZ

Funding:

others

Contact:

Aldo Steinfeld

aldo.steinfeld@ethz.ch

Period:

2011–2013

Abstract: The CO₂ capture technology is based on a cyclic adsorption-desorption process that occurs on a novel filter material ("sorberent"). During adsorption, atmospheric CO₂ is chemically bound to the sorberent surface. Once the sorberent is saturated with CO₂, the CO₂ is driven off the sorberent through heating the sorberent to around 60–100 °C, thereby delivering high-purity gaseous CO₂. The CO₂-free sorberent can be re-used for many adsorption-desorption cycles.

● TOWARDS INDUSTRIAL SOLAR PRODUCTION OF ZINC AND HYDROGEN - 100 KW SOLAR PILOT REACTOR FOR ZNO DISSOCIATION

P&D 3.1.3

Lead:

PSI

Funding:

BFE

Contact:

Anton Meier

anton.meier@psi.ch

Period:

2010–2015

Abstract: In diesem Projekt wird der 100 kW Pilotreaktor am PSI konstruiert und gebaut. Der Solarreaktor sowie die Zusatzsysteme (Partikelförderer und Produktgasbehandlung) werden anschliessend gemäss Arbeitsplan im 1 MW Solarofen in Odeillo, Frankreich, getestet.

● SOLAIR PILOT PLANT

P&D 3.1.3

Lead:

ALE Airlight Energy SA

Funding:

BFE

Contact:

Andrea Pedretti

andrea.pedretti@airlightenergy.com

Period:

2010–2012

Abstract: Solar irradiation in Biasca is insufficient for a meaningful practical demonstrator. To be able to effectively test and validate the different components of the Airlight Energy CSP system, two new simulation prototypes are being developed: a full two-axis tracking collector for the validation of the novel receiver design and a new packed bed thermal energy storage with improved thermal insulation and enhanced performance measurement capability.

● PROZESSWÄRME MIT VAKUUMRÖHRENKOLLEKTOREN FÜR DIE BEHEIZUNG DES PARAFFINS FÜR FISCHER KERZEN AG

P&D 3.1.3

Lead:

Theo Fischer AG

Funding:

BFE

Contact:

Daniel Kretz

d.kretz@kerzen.ch

Period:

2009–2012

Abstract: Für die Kerzenfabrik Fischer Root (Kt. Luzern) wurde eine thermische Vakuumröhrenkollektoren Solaranlage für die Beheizung des Paraffins realisiert. Das Material muss dauernd auf einer Temperatur zwischen mindestens 65 und ca 110 °C gelagert werden. Die 81m² (Absorberfläche) Kollektoren Typ Augusta DF6 (SPF Nr. C938) werden eine Wärmeproduktion von ca. 47'000 kWh generieren.

- **CHAUFFAGE À 160 °C DE 80'000 LITRES DE BITUME PAR PANNEAUX SOLAIRES THERMIQUES À ULTRA VIDE** P&D 3.1.3
- | | | | |
|----------|-----------------------------------|----------|-----------|
| Lead: | Colas Suisse | Funding: | BFE |
| Contact: | Marc Maranzana maranzana@colas.ch | Period: | 2009–2011 |
- Abstract: Ce projet de chauffage à 160 °C de 80'000 litres de bitume par panneaux solaires thermiques à ultra vide de nouvelle conception est un projet unique. Le domaine de la production de produits bitumineux est un gros consommateur d'énergie, nos panneaux solaires sont une alternative prometteuse aux énergies fossiles. Les 78 m² de l'installation permettront une économie d'énergie fossile de 35'000 kWh/an.
- **BEVER, LESA / SOLARE PROZESSWÄRMEERZEUGUNG** P&D 3.1.3
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | EWZ | Funding: | BFE |
| Contact: | Mevina Feuerstein mevina.feuerstein@ewz.ch | Period: | 2010–2013 |
- Abstract: Das Elektrizitätswerk der Stadt Zürich realisiert im Molkereibetrieb Lesa Latoria Engiadinaisa SA in Bever eine Hochtemperatur-Solaranlage. Mit dieser Anlage wird ein Teil der Dampfproduktion mit Heizöl durch eine Energieproduktion mit erneuerbarer Energie ersetzt. Es werden konzentrierende Rinnenkollektoren eingesetzt, welche gegenüber Vakuumröhrenkollektoren effizienter Hochtemperatur-Wärme erzeugen.
- **INSTALLATION SOLAIRE INDUSTRIELLE HAUTE TEMPÉRATURE CHEZ CREMO SA** P&D 3.1.3
- | | | | |
|----------|-----------------------------------|----------|-----------|
| Lead: | Crema SA | Funding: | BFE |
| Contact: | Paul- Albert Nobs Panobs@crema.ch | Period: | 2011–2015 |
- Abstract: La technologie de concentrateur utilisée est connue mais sa taille et l'application dans une industrie agroalimentaire leader en Suisse en fait un projet de démonstration avec un potentiel de réplication et de dissémination importants. Ce projet vise à démontrer que, même dans une région relativement peu ensoleillée, le retour sur l'investissement est raisonnable compte tenu notamment des économies de gaz obtenues d'env. 175'000 kWh/an.
- **INSTALLATION SOLAIRE INDUSTRIELLE HAUTE TEMPÉRATURE CHEZ FROMAGERIE DE SAINGELÉGIER SA: TÊTE DE MOÏNES À L'APPUI SOLAIRE** P&D 3.1.3
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | Fromagerie de Saingelégier SA | Funding: | BFE |
| Contact: | Jean-Philippe Brahier jeanphilippe.brahier@emmi.ch | Period: | 2011–2013 |
- Abstract: Projet industriel de surface importante (env. 600 m²). La technologie de concentrateur utilisée (nouveau type de parabole linéaire de NEP Solar) est nouvelle et n'avait jamais été utilisée dans un projet solaire industriel en Suisse. Le projet permet de comparer le rendement de différents installations de type similaires situées dans le Jura, les Alpes et sur le Plateau.
- **IEA-SHC TASK SHIP SUBTASK A LEADERSHIP** R&D 3.1.3
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | Institut für Solartechnik SPF | Funding: | BFE |
| Contact: | Elimar Frank elimar.frank@solarenergy.ch | Period: | 2011–2014 |
- Abstract: In the Subtask A « Process heat collector development and process heat collector testing », the further development, improvement and optimisation of collectors, components and the collector loop is investigated. All types of solar thermal collectors for an operating temperature level up to 400 °C are addressed. It should also prepare the bases to identify and select the most suitable collector technology for a given application.
- **CST KOMPETENZZENTRUM AM SPF** R&D 3.1.3
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | Institut für Solartechnik SPF | Funding: | BFE |
| Contact: | Stefan Brunold stefan.brunold@solarenergy.ch | Period: | 2011–2015 |
- Abstract: Ziel dieses Projektes ist es, die Kompetenzen des SPF auf den Bereich der konzentrierenden Kollektoren und der solar-thermischen Prozesswärmenutzung sowie anderer Anwendungen zu übertragen bzw. zu erweitern, um insbesondere auf dem Gebiet der „Concentrating Solar Thermal Energy“ (CST) international eine zentrale Rolle einzunehmen. Aktivitäten: Ausbau der Spektroskopie, Alterungsuntersuchungen, Leistungsmessungen, Messtechnische Erfassung, Analyse.
- **SOLAR LIQUID FUEL FROM H₂O AND CO₂** R&D 3.1.3
- | | | | |
|----------|---------------------------------------|----------|-----------|
| Lead: | ETHZ | Funding: | BFE |
| Contact: | Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch | Period: | 2011–2014 |
- Abstract: A two-step solar thermochemical cycle to produce syngas from H₂O and CO₂ via Zn/ZnO redox reactions is considered. The exothermic step (non-solar) is the reaction of Zn with mixtures of H₂O and CO₂ yielding high-quality syngas (mainly H₂ and CO) and ZnO. Syngas is further processed to liquid fuels via Fischer-Tropsch or other catalytic reforming processes. This research project aims at optimizing and scaling-up the chemical reactor technology.

● SOLAR ZN-CYCLE - REACTOR TECHNOLOGY FOR ZN+H₂O+CO₂ TO PRODUCE SYNGAS

R&D 3.1.3

Lead: PSI

Funding: others

Contact: Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch

Period: 2012–2015

Abstract: Solar production of syngas from H₂O and CO₂ is examined via two-step thermochemical cycles based on redox reactions such as Zn/ZnO and FeO/Fe₃O₄: Endothermic step (thermal dissociation of the metal oxide using concentrated solar radiation) and exothermic step (reaction of the metal or reduced metal oxide with a mixture of H₂O and CO₂ yielding syngas, together with the initial form of the metal oxide that is recycled to the first step)

● HYTECH – SUSTAINABLE HYDROGEN UTILIZATION

R&D 3.1.3

Lead: PSI

Funding: others

Contact: Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch

Period: 2012–2015

Abstract: The HyTech project is focused on the realization of breakthroughs and advancing innovative technologies in the field of sustainable hydrogen utilization. Both the disciplines of solar hydrogen production and hydrogen storage will be engaged by employing the top experts in each field from Switzerland, and by pursuing pioneering approaches.

● SOLAR CERIA-BASED REDOX CYCLE FOR SPLITTING H₂O AND CO₂

R&D 3.1.3

Lead: PSI

Funding: others

Contact: Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch

Period: 2012–2015

Abstract: Solar syngas production from H₂O and CO₂ is experimentally investigated using a two-step thermochemical cycle based on cerium oxide redox reactions. A solar cavity-receiver containing porous ceria felt is directly exposed to concentrated thermal radiation at a mean solar concentration ratio of 2865 suns.

● SOLARHTG – HYDROTHERMAL GASIFICATION COMBINED WITH SOLAR AIR-RECEIVER AND THERMAL STORAGE

R&D 3.1.3

Lead: PSI

Funding: others

Contact: Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch

Period: 2012–2015

Abstract: Hydrothermal gasification, a relatively new technology, is able to convert wet biomass or wastewater in supercritical water into gas, clean water and salts. HTG requires relatively large amount of heat at temperature above 500 °C. This project proposes to study the coupling of a solar thermal plant with a HTG plant in order to increase the HTG conversion efficiency and store the solar energy in the fuel produced.

● CSP2 – CONCENTRATED SOLAR POWER IN PARTICLES

R&D 3.1.3

Lead: PSI

Funding: EU FP7

Contact: Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch

Period: 2011–2015

Abstract: The aim of the CSP2 Project is to use a dense gas-particle suspension as an alternative heat transfer fluid (HTF) that allows working temperatures higher than 550 °C. The solid phase consists of any particulate mineral, like quartz sand, that withstands high temperatures. The solid particles can also be used as a thermal energy storage medium due to their high heat capacity.

● ALSTOM – SOLAR-DRIVEN GAS TURBINES

R&D 3.1.3

Lead: PSI

Funding: others

Contact: Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch

Period: 2012–2014

Abstract: Scale-up demonstration of solar pressurized air-receiver in a solar tower. Project aimed at the engineering development of a novel solar receiver for heating compressed air to the entrance conditions of a gas turbine, as part of a combined cycle for power generation.

● IEA-SOLARPACES-PROGRAMM

R&D 3.1.3

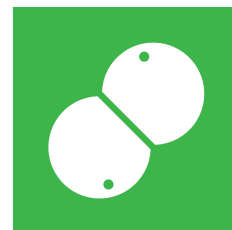
Lead: DLR

Funding: BFE

Contact: Christophe Richter exsec@solarpaces.org

Period: 1989–2016

Abstract: SolarPACES is an international cooperative network bringing together teams of national experts from around the world to focus on the development and marketing of concentrating solar power systems (also known as solar thermal power systems). It is one of a number of collaborative programs, called Implementing Agreements, managed under the umbrella of the International Energy Agency to help find solutions to worldwide energy problems.



Stefan Oberholzer

Wasserstoff



Hy-Boat – Wasserstoffboot der HEIG-VD

Als vollständig kohlenstofffreier Energieträger ist Wasserstoff prädestiniert für den Einsatz als Treibstoff zur Reduktion der mobilitätsbedingten CO₂-Emissionen. Nebend der Herausforderung, Wasserstoff effizient aus erneuerbaren Energiequellen zu produzieren, ist dessen Speicherung weiterhin ein aktuelles Forschungsthema. Formalinsäure (Ameisensäure) stellt eine Möglichkeit dar, Wasserstoff in Form einer einfach zu handhabenden und sicheren Verbindung zu speichern mit einer volumetrischen Dichte, die rund doppelt so hoch ist, wie bei Druckwasserstoff von 350 bar. In einer Zusammenarbeit zwischen der EPFL, der Fachhochschule Yverdon und der Firma Granit SA wurde ein katalytischer Pilotreaktor zur Umwandlung von Ameisensäure in Wasserstoff zusammen mit einer Brennstoffzelle als Antriebssystem in ein Experimentalboot integriert (Quelle: HEIG-VD, Granit SA).

Einleitung

Als sekundärer Energieträger kann Wasserstoff (H_2) aus verschiedensten Primärquellen erzeugt werden. Auf Grund der vollständigen Abwesenheit von Kohlenstoff erfolgt die weitere Energieumwandlungskette vollständig emissionsfrei, umweltverträglich und mit einem hohen Anteil an Exergie. Eine auf erneuerbaren Quellen basierte Produktionskette erlaubt damit eine vollständig nachhaltige Umwandlungskette – analog zum Einsatz von Elektrizität.

Der Einsatz von Wasserstoff als Treibstoff insbesondere im Strassenverkehr wird massiv vorangetrieben. Allgemein befindet sich die Automobilindustrie im Übergang von einem direkten Antrieb über einen Verbrennungsmotor zu einem rein elektrischen Antrieb. Die weltweit grössten Autohersteller sind sich darin einig, dass Wasserstoff in Verbindung mit einem brennstoffzellenelektrischen Antrieb es erlaubt, grosse Mengen an Elektrizität aus erneuerbaren Quellen in der individuellen Mobilität einzusetzen, ohne dass dabei Einschränkungen für den Nutzer entstehen, verglichen mit konventionellen Technologien. Da insbesondere grössere, leistungsstarke Personewagen mit bis zu drei Viertel zur totalen Fahrleistung (und daher zum Verbrauch bzw. den Emissionen) beitragen, besteht hier ein enormes Potenzial zur Reduktion der verkehrsbedingten CO_2 -Emissionen. Um die Markteinführung voranzutreiben bildeten sich im Berichtsjahr unter verschiedenen Herstellern zum Teil neue Allianzen, so zum Beispiel zwischen Toyota und BMW oder zwischen Daimler, Ford und Nissan. In diesem Zusammen-

hang hat Daimler seine für das Jahr 2014 vorgesehene Einführung der B-Klasse F-CELL zurückgestellt.

Insbesondere in Deutschland wird das notwendige Infrastrukturnetz für Wasserstoff-Fahrzeuge in den nächsten Jahr stark ausgebaut werden. Das bestehende Netz von derzeit 15 öffentlich zugänglichen H_2 -Tankstellen soll bis 2015 auf mindestens 50 ausgebaut werden [1]. Hierzu wurde eine Absichtserklärung zwischen dem Bundesverkehrsministerium und Air Liquide, Air Products, Daimler, Linde und Total Deutschland unterzeichnet. Bis 2015 sollen mindestens 5'000 Fahrzeuge im Betrieb sein für eine ausgedehnte marktrelevante Erprobung der Tankstelleninfrastruktur.

In der Schweiz wurden 2012 zwei erste H_2 -Tankstellen eröffnet: im Mai die Tankstelle in Brugg bei PostAuto Schweiz AG (www.postauto.ch) im Zusammenhang mit dem Demonstrationsprojekt CHIC zum Einsatz von Brennstoffzellenbussen (<http://chic-project.eu>), und Ende Jahr eine weitere auf dem Firmengelände von Belenos Clean Power Holding Ltd. (www.belenoscleanpower.com). Es gibt erste Gespräche und Untersuchungen, wie auch in der Schweiz eine Mindestinfrastruktur für den künftigen Einsatz von Wasserstoff-Fahrzeugen vorangetrieben werden kann.

Im Zusammenhang mit der Diskussion rund um die Netzintegration von Windstrom – und im geringeren Ausmass auch Solarstrom – kommt Wasserstoff eine immer grössere Bedeutung als Speichermedium zu. Europaweit sind

verschiedenene Pilotanlagen zur Erprobung von «Power-to-Gas»-Konzepten in Betrieb oder in Planung, so beispielsweise das Hybridkraftwerk von Enertrag (www.enertrag.com) in Mecklenburg-Vorpommern oder die im Jahr 2012 von AREVA in Betrieb genommene Anlage «MYRTE Mission hYdrogen & Renewable for the inTegration on the Electrical grid» auf Korsika zur dezentralen Speicherung von Solarstrom (<http://myrte.univ-corse>). Während die kurzfristige Glättung von Produktionsspitzen durch etablierte Technologien wie Batteriespeicher möglich sein wird, bildet die Verlagerung von Produktionsmaxima zwischen verschiedenen saisonalen Zeiträumen eine grosse Herausforderung. In diesem Zusammenhang wird auch über die Einspeisung von Wasserstoff ins Erdgasnetz und die Methanisierung diskutiert, wobei hier die Energie weniger effizient genutzt wird im Vergleich zum Einsatz von reinem Wasserstoff kombiniert mit Brennstoffzellen.

Schweizer Forschungsinstitutionen arbeiten an verschiedensten Fragestellungen im Zusammenhang mit dem Einsatz von Wasserstoff als Energiträger mit. Dabei sind viele Projekte international eingebettet, dies insbesondere im Joint Undertaking for Fuel Cell and Hydrogen FCH-JU [2] der europäischen Union, dessen Nachfolgeprogramm sich für die Zeit nach 2013 in Planung befindet. In dem vorliegenden Bericht werden die herausragendsten Resultate 2012 aus Forschung und Entwicklung in diesem Bereich vorgestellt.

IEA Klassifikation: 5.1 Hydrogen, 5.2 Fuel Cells

Schweizer Klassifikation: 2.2 Wasserstoff

Programmschwerpunkte

Die Schwerpunkte des Forschungsprogramms *Wasserstoff* liegen in der materialorientierten Grundlagenforschung, in der Systementwicklung, sowie in der Demonstration und Erprobung in Pilotprojekten [3, 4].

Nachhaltige Wasserstoffproduktion: Die Erforschung neuer Materialien, welche für die photoelektrochemische (PEC) Produktion von Wasserstoff in Frage kommen, ist ein zentrales Thema des Programms. Dabei wird insbesondere die Weiterentwicklung von nanostrukturierten Photoanoden auf der Basis von Eisenoxid (Hämatit) vorangetrieben. Forschungsprojekte hierzu laufen an der École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), der Empa und der Universität Basel.

Die solarthermische Produktion von Wasserstoff und Synthesegas («Solar fuels») bildet einen zweiten Schwerpunkt. Hier werden am Paul Scherrer Institut (PSI) sowie an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETHZ) verschiedene thermochemische Prozesse studiert, bei denen konzentrierte Solarwärme als Energiequelle eingesetzt wird.

Ein weiterer Themenbereich bildet die effiziente Hochdruckelektrolyse zur Umwandlung von Strom in Wasserstoff. Die Entwicklung alkalischer Hochdruckelektrolyseure im hohen Leistungsbereich hat

in der Schweiz eine lange Tradition. Die Forschungsaktivitäten konzentrieren sich auf die Kombination solcher Anlagen mit erneuerbaren Quellen wie Wind, sowie auf die Entwicklung neuer Membranmaterialien. Weiter werden hier auch gänzlich neue Ansätze für die Elektrolyse bei sehr hohen Drücken erforscht.

Effiziente Wasserstoffspeicherung: Den Schwerpunkt in diesem Teilbereich bilden komplexe Metallhydride, welche als Festkörper Wasserstoff in ihrem Kristallgefüge speichern können. Im Mittelpunkt stehen verschiedene Boronatverbindungen, welche sich durch eine besonders hohe Speicherdichte auszeichnen. Weiter wird in diesem Bereich die Speicherung von Wasserstoff in Form von Kohlenwasserstoff-Verbindungen wie Formalinsäure (CH_2O_2) studiert. Die Attraktivität solcher Speicherformen liegt in der leichteren Handhabbarkeit solcher Stoffe (Flüssigkeiten) sowie in den Kombinationsmöglichkeiten mit «Carbon Capture and Storage»-Technologien.

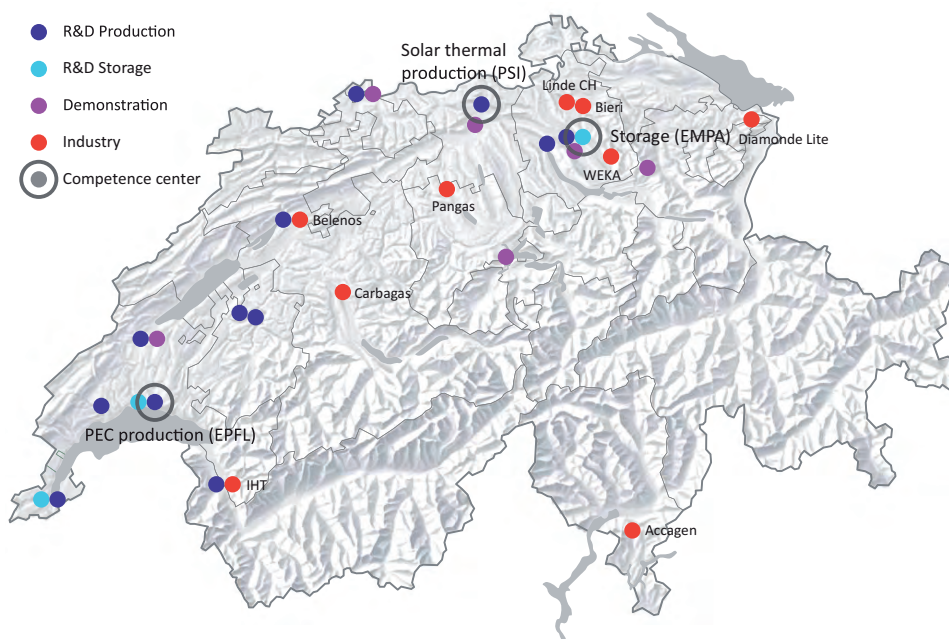
Rückblick und Bewertung 2012

Im Bereich Wasserstoff & Brennstoffzellen liefen im Jahr 2012 90 Forschungs-, Pilot- und Demonstrationsprojekte, welche über verschiedenste Förderstellen unterstützt wurden.

Im Bereich der photoelektrochemischen Wasserstofferzeugung wurden die Aktivitäten an der EPFL durch ein neues BFE-Projekt weitergeführt. Hieraus und auf Grund von Resultaten aus dem Vorgängerprojekt wurden im Jahr 2012 eine Reihe von Arbeiten höchster wissenschaftlicher Exzellenz in renommierten Zeitschriften publiziert.

Ausblick 2013

Im Jahr 2013 sind insbesondere im Bereich Pilot- und Demonstrationsprojekte weitere Initiativen geplant. So haben die SBB zusammen mit Elvetino signalisiert, den Einsatz des über mehreren Jahren entwickelten Brennstoffzellensystems für die Versorgung einer Minibar in grossem Umfang vorzusehen. Im Mobilitätsbereich sind weitere Aktivitäten vorgesehen zur Vorbereitung des Einsatzes von Wasserstoff-Fahrzeugen in der Schweiz, aufbauend auf dem Brennstoffzellenbusprojekt in Brugg. Im Bereich Forschung werden Projekte zur solarthermischen Produktion von Wasserstoff und Synthesegas neu lanciert, sowie neu Ansätze, beispielsweise zur mikrobiellen Produktion von Wasserstoff und Ethanol verfolgt werden.

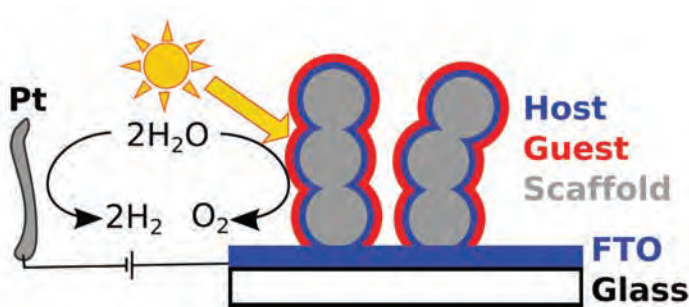


Highlights aus Forschung und Entwicklung

Um Wasserstoff als Energieträger in einer nachhaltigen Energieversorgung einzusetzen, müssen die heute existierenden Verfahren zur Produktion, Speicherung und Verteilung verbessert werden. Insbesondere sollte dazu der Anteil des regenerativ hergestellten Wasserstoffs deutlich gesteigert werden. Hier leisten die zum Teil grundlegenden Forschungsaktivitäten in der Schweiz wesentliche Beiträge.

Solare Wasserstoffproduktion

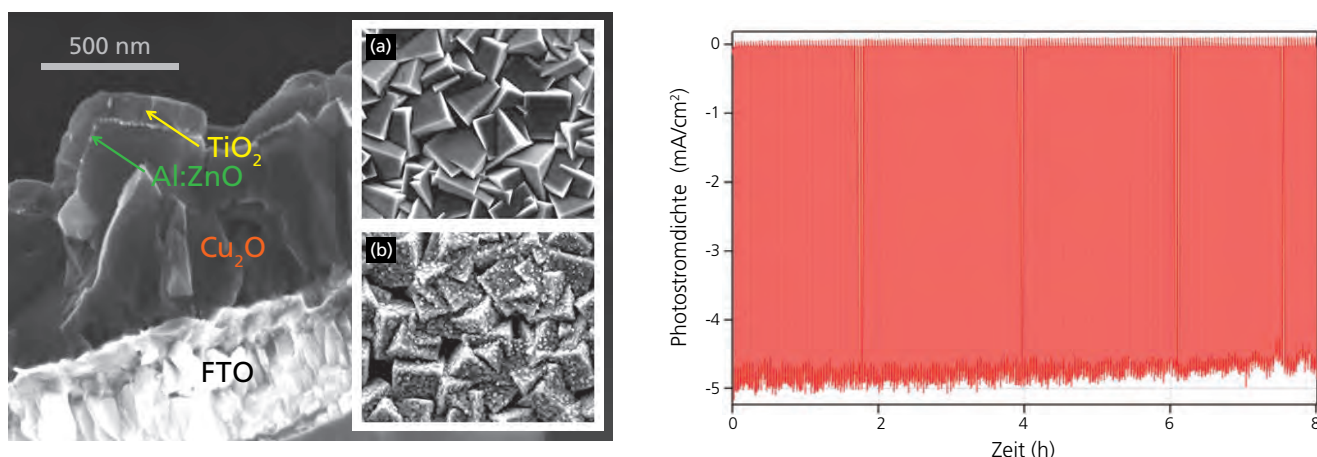
Die Gewinnung von Wasserstoff kann über verschiedenste Prozesse laufen, beispielsweise über thermische, elektrolytische oder photolytische. Unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit sind insbesondere solar-thermische Verfahren mit konzentrierter Solarenergie, die Elektrolyse mit dem Einsatz von Strom aus erneuerbaren Quellen und die Photoelektrolyse (PEC) interessant. In letzterem Prozess wird die Energie des Sonnenlichts zur Aufspaltung von Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff genutzt.



Figur 1: Photoelektrochemische Zelle zur Umwandlung von solarer zu chemischer Energie (Wasserstoff). In einem «host-guest»-Ansatz wird versucht, die optische Absorption (Guest-Material) vom Ladungstransport (Host-Material) zu entkoppeln. Im Berichtsjahr wurde an der EPFL ein leitendes und transparentes Oxid (TCO) auf Basis von Niobium-dotiertem Zinn entwickelt, welches einen neuen Rekord für die Umwandlungseffizienz von Solar-zu-Wasserstoff für dieses Materialsystem ermöglichte (Quelle: EPFL, [5]).

Am Kompetenzzentrum *PEChouse* (pechouse.epfl.ch) an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Lausanne (EPFL) wird in Zusammenarbeit mit weiteren nationalen und internationalen Institutionen an der Entwicklung von photoelektrochemischen Zellen zur Wasserspaltung gearbeitet. Die Attraktivität dieser Methode liegt in der direkten Umwandlung und Speicherung der Energie des Sonnenlichts in Wasserstoff, wobei die Komplexität der auf PEC basierenden Wasserspaltung sehr hoch ist. So müssen die photoaktiven Elemente in PEC-Zellen eine Spannung liefern, welche oberhalb des elektrochemischen Potentials für die Wasserspaltung (1,23 V) in Sauerstoff und Wasserstoff liegt. Gleichzeitig sollen die Zellen eine hohe Photon-Umwandlungseffizienz (IPCE) aufweisen (hoher Photostrom), die eingesetzten Materialien und die Herstellung dürfen nicht zu kostenintensiv sein, und schliesslich muss eine Langzeitstabilität (Korrosionsbeständigkeit) der PEC-Zellen gewährleistet sein. Die EPFL und ihre Projektpartner konzentrieren sich auf PEC-Zellen auf Basis von Hämatit (Fe_2O_3) als Photoanodenmaterial.

Aufbauend auf dem Vorgängerprojekt konnten hier im Berichtsjahr weitere grosse Fortschritte erzielt werden. Eine grosse Herausforderung zur Erhöhung der Solar-zu-Wasserstoff-Effizienz auf Hämatit-basierenden PEC-Zellen liegt in



Figur 2: Links: Querschnittsaufnahme (Rasterelektronenmikroskop-Bild) einer Kupferoxid-Photoanode, welche mit einer 20 nm dicken Al-dotierten ZnO- und einer 100 nm dicken TiO_2 -Schicht gegen Degradation geschützt wird. Trotz der zusätzlichen Schutzschicht zeigt die Strom-Spannungskennlinie hohe Photoströme von bis zu 6 mA/cm^2 . Einsatz: Ungeschützte Photoanode vor (a) und nach (b) Belichtung (PEC). Rechts: Die so geschützte Elektrode zeigt während 8h kaum Degradation, was auf eine sehr hohe chemische Stabilität hindeutet (Quelle: EPFL).

den grossen Photonen-Absorptionslängen (mehrere 100 nm) im Vergleich zu den sehr kurzen Diffusionslängen der generierten Ladungsträger (2–4 nm). Dazu werden sogenannte «Host-guest»-Ansätze verfolgt, wo das Absorbermaterial Hämatit auf eine dreidimensionale poröse Trägerstruktur aufgebracht wird (Figur 1). Eine dünne transparente und leitfähige Schicht (TCO = transparent conductive oxide), welche zusätzlich auf die «Host»-Struktur abgeschieden wird, garantiert den notwendigen Ladungstransport. Die Schwierigkeit liegt insbesondere darin, ein geeignetes Materialsystem zu identifizieren, welches sich einerseits einfach abscheiden lässt, andererseits gute Leitfähigkeit und hohe Stabilität über einen grossen pH-Bereich zeigt. In einer 2012 veröffentlichten Publikation [5] des PEC-Kompetenzzentrums an der EPFL wurde eine rekordhohe Solar-zu-Wasserstoff (STH)-Effizienz für diese Art PEC-Zelle demonstriert.

Ein weiteres Highlight in diesem Projekt bildet die Stabilisierung von neuartigen Kupfer-Oxid-Photokathoden durch den Einsatz von Schutzschichten (Figur 2). Dieses Anodenmaterial besitzt ein grosses Potenzial für hohe Wirkungsgrade bei der solaren Wasserstoffproduktion.

In einer weiteren Publikation in *Nature Photonics* [8] wurde zudem die Kombi-

nation einer Farbstoffsolarzelle und einer auf Metalloxiden basierenden PEC-Zelle demonstriert mit einem Wirkungsgrad, der um eine Grössenordnung höher liegt, als was bisher mit solchen Materialsystemen erreicht wurde. Dabei wurde für das Materialsystem Hämatit nur etwa 8 % des theoretischen Limits erreicht, so dass hier ein grosses Optimierungspotenzial besteht.

IHPoS-Minibar

Seit mehreren Jahren entwickelt die Firma CEKATEC AG (www.cekatec.ch) in Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Biel ein luftgekühltes 500-Watt-PEM-Brennstoffzellensystem. Nach verschiedenen Rückschlägen bei der Umsetzung und Integration dieser Brennstoffzelle in eine Minibar-Anwendung bei Elvetino/SBB (Figur 3) wurde das Brennstoffzellensystem im Berichtsjahr beim TÜV geprüft und es konnten die Pläne für einen breit angelegten Einsatz des Systems im Jahr 2013 konkretisiert werden. Insbesondere wurde ein neuartiges Konzept für die Wasserstoffspeicherung in einem innovativen Metallhydrid-Tank entwickelt und damit die Speicherung in Druckflaschen ersetzt.



Figur 3: Integration eines luftgekühlten Brennstoffzellensystems zur Versorgung einer Minibar. Elvetino/SBB plant den Einsatz von mehreren solchen Systemen im Jahr 2013. Über mehrere Jahre kann das Brennstoffzellensystem gegenüber der konventionellen Batterielösung in dieser Anwendung wirtschaftlich vorteilhaft sein.



Figur 4: (Links) Erste Schweizer Wasserstofftankstelle in Brugg AG, welche im Mai 2012 eröffnet wurde. Ein Teil des Wasserstoffs wird vor Ort durch Elektrolyse produziert (Produktionskapazität von 1'440 Nm³/Tag), der andere Teil wird per Trailer angeliefert. Wasserstoff wird bei 450 bar gespeichert mit einer Speicherkapazität von 5'000 Nm³. Die Busse werden mit Wasserstoff von 350 bar betankt. (Rechts) Im Zusammenhang mit dem vorhergesehenen Einsatz der Wasserstoffbusse von PostAuto am WEF 2013 wurden im Sommer 2012 Versuche in Davos durchgeführt, um die Leistung des Brennstoffzellenantriebs bei veringertem Sauerstoffpartialdruck zu testen.

Nationale Zusammenarbeit

Auch im Berichtsjahr wurde die nationale Zusammenarbeit zwischen Projektnehmern weiter gepflegt. In vom BFE unterstützten Projekten bestehen verschiedene Arbeitsnetzwerke, so zum Beispiel bei der solaren Wasserstoffproduktion mittels Photoelektrochemie (PEChouse, <http://pechouse.epfl.ch>). Das von der Empa organisierte internationale Symposium Hydrogen and Energy fand zum sechsten Mal statt, welches sich als Informationsplattform für Themen aus der Grundlagenforschung und der Technologie im Bereich Wasserstoff etabliert hat.

Auf Programmebene konnte die Zusammenarbeit mit verschiedenen Förderinstitutionen weiter ausgebaut werden, dies insbesondere mit Swisselectric Resarch, dem Compe-

tence Center Energy and Mobility CCEM und der Kommission für Technologie und Innovation KTI. Im Bereich Wasserstofftechnologie, wo der Abstand zur Marktanwendung verglichen zu anderen Energietechnologien zum Teil noch wesentlich höher ist, kommt der subsidiären Forschungs- und Entwicklungsförderung durch das BFE nach wie vor eine zentrale Funktion zu, welche insbesondere für die Kompetenzerhaltung von hoher Bedeutung ist. Hier wirken sich die geringeren zur Verfügung stehenden Mittel, insbesondere im Bereich Forschung und Entwicklung, negativ aus. Die meisten Schweizer Akteure im Bereich Wasserstoff- und PEM-Brennstoffzellentechnologie – aus der Forschung und der Industrie – sind in der nationalen Wasserstoffvereinigung Hydropole (www.hydropole.ch) organisiert.

Internationale Zusammenarbeit

Das Wasserstoffprogramm (HIA) der IEA (www.ieahia.org) bildet neben der International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy (IPHE) die Hauptplattform der internationalen, vorkommerziellen Forschungszusammenarbeit im Bereich Wasserstoff. Es ist dies eines der ältesten laufenden Implementing Agreements der IEA. Die Schweiz beteiligt sich seit 1977 daran. Neben der Vertretung im Executive Committee durch das BFE sind Schweizer Akteure aktiv in verschiedensten Tasks. So wirkt die Empa im Task «Hydrogen Safety» mit und das PSI vertritt die Schweiz im Task «High Temperature Production of Hydrogen». Der «Wind Energy and Hydrogen Integration» wurde 2011 erfolgreich abgeschlossen. Hier hatte die Schweiz durch die Beteiligung eines industriellen Partners (Industrie Haute Technologie SA) einen zentralen Beitrag, indem dieser einen alkalischen Hochdruckelektrolyseur zu Testzwecken lieferte, welcher sich besonders gut für den Betrieb mit fluktuierenden Quellen wie Photovoltaik und Wind eignet. Das in diesem Task gebildete Konsortium arbeitet weiter zusammen in einem neuen EU-Projekt (ELYGRID). Schliesslich vertritt die EPFL die Schweiz im Forschungstask «WaterPhotolysis». Die EPFL ist hier mit ihrer Koordinati-

onsfunktion im Bereich der Oxid-basierten Photoelectrolyse in Europa ein zentraler Partner. Weiter ist die Schweiz Mitglied in der European Hydrogen Association EHA (www.h2euro.org), welche insbesondere durch die Publikationen von Strategiepapieren und Newslettern zum Thema Wasserstoff aktiv ist.

Viele Wasserstoffprojekte werden durch die EU-Forschungsrahmenprogramme unterstützt. Dazu beteiligen sich verschiedenste Schweizer Akteure aktiv an dem seit 2008 laufenden Programm Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU). Hauptthemen sind Grossdemonstrationsprojekte im Mobilitätsbereich inklusive Wasserstofflogistik. In der Industriegruppe des FCH JU mit 58 Firmen sind die Schweizer Firmen Hexis und HTceramix (SOFC Power) als Mitglieder dabei. Im European Research Grouping (N.ERGHY, www.nerghy.eu) ist die Schweiz durch die Empa und das PSI vertreten. Über die States Representatives Group (BFE) werden die Forschungsprogramme der einzelnen Länder in die europäische Initiative eingebunden. Momentan sind intensive Diskussionen im Gange, wie das Nachfolgeprogramm aufgelegt werden soll.

Referenzen

[1] Pressemitteilung vom 20. Juni 2012: Bundesregierung und Industrie errichten Netz von 50 Wasserstoff-Tankstellen (www.bmvbs.de).

[2] www.fch-ju.eu.

[3] BFE, *Energieforschungsprogramme Brennstoffzellen und Wasserstoff für die Jahre 2008 bis 2011*.

[4] Bundesamt für Energie, *Konzept der Energieforschung des Bundes 2008 bis 2012* (www.energieforschung.ch).

[5] M. Stefik, M. Cornuz, N. Mathews, T. Hisatomi, S. Mhaissalkar, and M. Grätzel, *Nano Letters* 12, 5431–5 (2012).

[6] A. Paracchino et al. «Highly active photocathode for photoelectrochemical water reduction», *Nature Materials* 10 (6), 456–461 (2011).

[7] A. Paracchino et al., *Energy & Environmental Science* (2012). DOI:10.1039/C2EE22063F

[8] J. Brillet et al., *Nature Photonics* (2012) DOI:10.1038/NPHOTON.2012.265

Laufende und im Berichtsjahr abgeschlossene Projekte

(* IEA-Klassifikation)

- ADEL – ADVANCED ELECTROLYSER FOR HYDROGEN PRODUCTION WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES**

Lead: **Htcearmix**

Contact: **Olivier Bucheli** olivier.bucheli@htceramix.ch

Abstract: The project aims at developing a new steam electrolyser concept, the so-called Intermediate Temperature Steam Electrolysis (ITSE). The new concept will increase the electrolyser lifetime by decreasing its operation temperature while maintaining a satisfactory performance level. This will allow a significant part of the required energy to be provided as heat, the rest being provided as electricity (www.adel-energy.eu).

R&D 5.1.1*

Funding: **EU-FP7**

Period: **2011–2014**
- ARTIPHYCTION – FULLY ARTIFICIAL PHOTO-ELECTROCHEMICAL DEVICE FOR LOW TEMPERATURE HYDROGEN PRODUCTION**

Lead: **Solaronix SA**

Contact: **Toby Meyer** toby.meyer@solaronix.com

Abstract: Building on the pioneering work performed in a FET project based on natural enzymes (www.solhydromics.org) and the convergence of the work of the physics, materials scientists, chemical engineers and chemists involved in the project, an artificial device will be developed to convert sun energy into H₂ with close to 10% efficiency by water splitting at ambient temperature (www.artiphyction.org).

R&D 5.1.1

Funding: **EU-FP7**

Period: **2012–2015**
- BIO-MIMETIC CHEMISTRY OF [FE]-HYDROGENASE**

Lead: **EPFL**

Contact: **Xile Hu** xile.hu@epfl.ch

Abstract: Hydrogenases are enzymes that efficiently catalyze the production and/or utilization of hydrogen (H₂). In light of the central role of H₂ in technologies (fuel cell) and industries (hydrogenation), studies on the structure and function of hydrogenases are of significant current interest. Bio-mimetic chemistry plays an important role here because it provides important chemical precedents and insights.

R&D 5.1.1

Funding: **SNF**

Period: **2011–2014**
- CATALYSIS UNDER EXTREME CONDITIONS: IN SITU STUDIES OF THE REFORMING OF ORGANIC KEY COMPOUNDS IN SUPERCRITICAL WATER**

Lead: **PSI**

Contact: **Jörg Wambach** joerg.wambach@psi.ch

Abstract: The project focuses mainly on obtaining insights to the role of the catalytically active metal. Besides on line mass spectrometry (MS) for analyzing the gas-phase species (methane, hydrogen, carbon dioxide, carbon monoxide), in situ investigations of a ruthenium catalyst applying X-ray absorption spectroscopy (XAS) and X-ray emission spectroscopy (XES) are planned.

R&D 5.1.1

Funding: **SNF**

Period: **2010–2013**
- DEFECTS IN THE BULK AND ON SURFACES AND INTERFACES OF METAL OXIDES WITH PHOTOELECTROCHEMICAL PROPERTIES**

Lead: **Empa**

Contact: **Braun Artur** artur.braun@empa.ch

Abstract: In PEC anode materials, solar energy creates electron-hole pairs which separate under an external field; the holes diffuse to the anode-electrolyte interface into the electrolyte where they can oxidize water and generate oxygen gas; in return, an electron from the electrolyte enters the anode material, and at the cathode hydrogen is evolved which can be used as fuel.

R&D 5.1.1

Funding: **SNF**

Period: **2011–2014**
- DEMCAMER – DESIGN AND MANUFACTURING OF CATALYTIC MEMBRANE REACTORS BY DEVELOPING NEW NANO-ARCHITECTURED CATALYTIC AND SELECTIVE MEMBRANE MATERIALS**

Lead: **Quantis Sàrl**

Contact: **Patricia Girardbille** info@quantis-intl.com

Abstract: The aim of the project is to develop multifunctional Catalytic Membrane Reactors based on nano-architected catalysts and selective membranes materials to improve their performance, cost effectiveness and sustainability over four selected chemical processes (Autothermal Reforming (ATR), Fischer-Tropsch (FTS), Water Gas Shift (WGS), and Oxidative Coupling of Methane (OCM)) for pure hydrogen, liquid hydrocarbons and ethylene production.

R&D 5.1.1

Funding: **EU-FP7**

Period: **2011–2015**
- DEVELOPMENT OF NOVEL, SYNTHETIC, CALCIUM-BASED SORBENTS FOR CO₂ CAPTURE AND HYDROGEN PRODUCTION**

Lead: **ETHZ**

Contact: **Müller Christoph** muelchri@ethz.ch

Abstract: The overall objective of this proposal is the development of novel, synthetic, calcium-based sorbents for CO₂ capture. These sorbents shall possess high cyclic reactivity and capacity, tolerance towards sulphur and a low tendency for attrition. Two advanced particle preparation techniques, i.e. co-precipitation and sol-gel, which offer the possibility to tailor key structural parameters of the sorbent, such as pore size distribution will be applied.

R&D 5.1.1

Funding: **SNF**

Period: **2011–2014**

● **GENIUS – GENERIC DIAGNOSIS INSTRUMENT FOR SOFC SYSTEMS**

R&D 5.1.1

Lead: HTceramix / Hexis

Funding: EU-FP7

Contact: Olivier Bucheli olivier.bucheli@htceramix.ch

Period: 2010–2012

Abstract: The state of health of any SOFC system is currently difficult to evaluate, which makes it difficult to respond to a fault or degradation with the appropriate counter measure, to ensure the required reliability level. Therefore, the GENIUS project aims to develop a GENERIC tool that would only use process values and that would be based on a validated diagnostic algorithm (<https://genius.eifer.uni-karlsruhe.de>).

● **HOMOGENEOUS PHOTOCATALYTIC WATER SPLITTING**

R&D 5.1.1

Lead: Uni Zürich

Funding: SNF

Contact: Greta Patzke greta.patzke@aci.uzh.ch

Period: 2011–2014

Abstract: Extensive synthetic, mechanistic and optimization work is now required to develop WRC/WOC catalyst systems that produce solar fuels at a competitive price. Cheap, replaceable and non-toxic WRC/WOC couples would offer distinct operational advantages over photoelectrolytic water splitting, such as single step and low cost processes without preliminary generation of electricity.

● **HYTECH (SUSTAINABLE HYDROGEN TECHNOLOGIES)**

R&D 5.1.1

Lead: EPFL

Funding: SER / CCEM

Contact: Massimiliano Capezzali PECHouse@epfl.ch

Period: 2011–2014

Abstract: The HyTech project is focused on the realization of breakthroughs and advancing innovative technologies in the field of sustainable H₂ utilization. These developments will have a large impact on future H₂ energy systems. To maximize the efficacy of our efforts, both the disciplines of solar H₂ production and H₂ storage will be engaged by employing the top experts in each field from Switzerland, and by pursuing pioneering approaches.

● **IDEALHY – INTEGRATED DESIGN FOR DEMONSTRATION OF EFFICIENT LIQUEFACTION OF HYDROGEN**

P&D 5.1.1

Lead: WEKA AG

Funding: EU-FP7 / BFE

Contact: Michael Börsch m.boersch@weka-ag.ch

Period: 2011–2014

Abstract: The project (www.idealhy.eu) carries out a detailed investigation of different steps in the liquefaction process, bringing innovations and greater integration in an effort to reduce specific energy consumption by 50% compared to existing plants, and simultaneously to reduce investment cost. IDEALHY will carry out a well-to-end-user analysis to illustrate the role of liquid hydrogen in the energy chain.

● **IEA HYDROGEN IMPLEMENTING AGREEMENT – ANNEX ADVANCED MATERIALS FOR HYDROGEN FROM WATERPHOTOLYSIS**

R&D 5.1.1

Lead: EPFL

Funding: BFE

Contact: Kevin Sivula PECHouse@epfl.ch

Period: 2012

Abstract: The main goal of the new Task 26 is to seamlessly extend the excellent R&D efforts made under previous PEC Tasks 14 and 20 toward practical material and systems solutions for water-photolysis. In this continued research, photon conversion efficiency and durability will be judged as the main measures of success in the development of new PEC materials.

● **IEA HYDROGEN IMPLEMENTING AGREEMENT – ANNEX HIGH TEMPERATURE HYDROGEN PRODUCTION PROCESS**

R&D 5.1.1

Lead: PSI

Funding: BFE / PSI

Contact: Anton Meier anton.meier@psi.ch

Period: 2012

Abstract: The purpose of Task 25 is to support production of massive quantities of zero-emission H₂ through use of high temperature processes (> 500 °C) coupled with nuclear and solar heat sources. The overarching objective is to share existing worldwide knowledge on high temperature processes (HTPs) and further to develop expertise in global assessment of the HTPs that can be integrated in Hydrogen Production Road Mapping.

● **METAL-OXIDE NANOPARTICLES AND FILMS FOR SOLAR PHOTO-ELECTROCHEMICAL HYDROGEN FUEL PRODUCTION**

R&D 5.1.1

Lead: Empa

Funding: BFE

Contact: Braun Artur artur.braun@empa.ch

Period: 2008–2012

Abstract: The objective of this project is to develop mixed metal-oxide narrow band-gap semiconductor nanoparticles with optimized redox potentials to produce hydrogen efficiently via photo-catalysis using visible light. Acetylene flame spray synthesis is a new method for nanoparticle and nanocomposite production from affordable inorganic precursor solutions with high crystallinity.

- **NANOMOF – NANOPOROUS METAL-ORGANIC FRAMEWORKS FOR PRODUCTION** R&D 5.1.1
- Lead: **Norafin GmbH** Funding: **EU-FP7**
 Contact: **André Lang** andre.lang@norafin.com Period: **2009–2013**
 Abstract: The discovery of porous hybrid materials constructed from inorganic nodes and organic multifunctional linkers has established a new area of inorganic-organic hybrids (Metal-Organic Frameworks, MOFs) with extraordinary performance as compared to traditional porous solids such as zeolites and activated carbon. NanoMOF will focus beyond discovery and integrate MOFs into products with industrial impact within a strong cooperation of established MOF research institutions and industrial end users.
- **PALE – PILOT LABORATORY ALKALINE ELECTROLYSERTEST BENCH TOR HIGH PRESSURE AND TEMPERATURE** P&D 5.1.1
- Lead: **Empa** Funding: **BFE**
 Contact: **Uli Vogt** uli.vogt@empa.ch Period: **2010–2012**
 Abstract: Complementary to the EU-project ELYGRID (www.elygrid.com) in this applied P&D project, a fully automated pilot-laboratory electrolyser with a mem brane diameter of 50 mm will be developed and built up. It is possible to test the membrane and total stack concerning efficiency, durability, cell voltage and power consumption under real conditions with electrodes and membranes made of newly developed advanced materials for higher efficiency.
- **PECHOUSE 2 – PHOTOELECTROCHEMICAL WATERSPLITTING FOR SOLAR PRODUCTION OF HYDROGEN** R&D 5.1.1
- Lead: **EPFL** Funding: **BFE**
 Contact: **Kevin Sivula** PECHouse@epfl.ch Period: **2011–2014**
 Abstract: Photoelectrochemical cells (PEC directly split water into H₂ and O₂ thereby providing a basis for the renewable, clean production of hydrogen from sunlight. They rely on a photoactive material (a semiconductor) capable of harvesting and converting solar energy into stored chemical fuel, i.e. hydrogen. The PECHouse is a collaborative effort with defined goals for the stepwise development of an efficient hydrogen production system (<http://pechouse.epfl.ch/>)
- **PHOCS – PHOTOGENERATED HYDROGEN BY ORGANIC CATALYTIC SYSTEMS** R&D 5.1.1
- Lead: **EPFL** Funding: **EU-FP7**
 Contact: **Michael Graetzel** michael.graetzel@epfl.ch Period: **2012–2015**
 Abstract: Aim of the project is the realization of a new-concept, photoelectrochemical system for hydrogen production, based on the hybrid organic/inorganic and organic/liquid interfaces. PHOCS takes the move from the recent demonstration of reduction/oxidation reactions taking place, under visible light and at zero bias, at the interface of an organic semiconductor and an aqueous electrolyte, obtained by the coordinators group.
- **PRODUCTION OF ULTRA-PURE HYDROGEN FROM WOODY BIOMASS USING A MODIFIED CHEMICAL LOOPING PROCESS** R&D 5.1.1
- Lead: **ETHZ** Funding: **BFE**
 Contact: **Müller Christoph** muelchri@ethz.ch Period: **2011–2014**
 Abstract: The proposal is concerned with a novel method for the production of hydrogen from woody biomass which is of sufficient purity to be used directly in PEM fuel cells without substantial gas clean-up, using a modified chemical looping combustion process.
- **REDUCTION OF CO₂ VIA TWO-STEP SOLAR THERMOCHEMICAL CYCLES USING REDOX PAIRS – THERMODYNAMICS, KINETICS, AND REACTOR TECHNOLOG** R&D 5.1.1
- Lead: **ETHZ** Funding: **SNF**
 Contact: **Aldo Steinfeld** aldo.steinfeld@ethz.ch Period: **2010–2012**
 Abstract: The scope of this project is to split CO₂ using concentrated solar energy in a two-step cycle with metal oxide redox reactions. The first step is a high temperature process driven by concentrated solar energy where a metal oxide is converted to a lower-valence metal oxide or metal and O₂. The lower-valence metal oxide or metal is then reacted with CO₂ in the second, non-solar, step to produce CO and the initial metal oxide.
- **SFERA – SOLAR FACILITIES FOR THE EUROPEAN RESEARCH AREA** R&D 5.1.1
- Lead: **PSI / ETHZ** Funding: **EU-FP7**
 Contact: **Aldo Steinfeld** aldo.steinfeld@ethz.ch Period: **2009–2013**
 Abstract: Concentrated solar energy is a very promising renewable source of energy. The solar resource in the Mediterranean countries of the EU and in North Africa is huge. The best known application so far is bulk electricity generation through thermodynamic cycles, but other applications have also been demonstrated, such as production of hydrogen and solar fuels, water treatment and research in advanced materials. Europe is a leader in research and development of this technology

● **SOLAR LIQUID FUELS FROM H₂O AND CO₂**

R&D 5.1.1

Lead: ETHZ

Funding: BFE

Contact: Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch

Period: 2011–2014

Abstract: A two-step solar thermochemical cycle for producing syngas from H₂O and CO₂ via Zn/ZnO redox reactions is considered. The second, non-solar, exothermic step is the reaction of Zn with mixtures of H₂O and CO₂ yielding high-quality syngas and ZnO. Syngas is further processed to liquid fuels via Fischer-Tropsch or other catalytic reforming processes. This research project is aimed at optimizing and scaling-up the chemical reactor technology for the 2nd step of the cycle.

● **SOLAR PRODUCTION OF ZINC AND HYDROGEN – REACTOR OPTIMISATION FOR SCALE-UP**

R&D 5.1.1

Lead: PSI / ETHZ

Funding: BFE

Contact: Anton Meier anton.meier@psi.ch

Period: 2007–2013

Abstract: In a two-step cycle based on the ZnO/Zn redox reactions, solar energy provides the process heat for the highly endothermic, high-temperature thermal dissociation of ZnO(s) into storable and transportable Zn metal. Depending on the desired application, the Zn(s) produced in turn can (1) be used as the fuel in a Zn-air battery to generate electricity, or (2) split water in an exothermic Zn hydrolysis reaction and convert the hydrogen to electricity in a H₂-O₂ fuel cell.

● **SOLARH₂ – EUROPEAN SOLAR-FUEL INITIATIVE – RENEWABLE HYDROGEN FROM SUN AND WATER**

R&D 5.1.1

Lead: UNIGE

Funding: EU-FP7

Contact: Jean-david Rochaix Jean-David.Rochaix@unige.ch

Period: 2008–2012

Abstract: SOLAR-H₂ brings together 12 world-leading European laboratories to carry out integrated, basic research aimed at achieving renewable hydrogen (H₂) production from environmentally safe resources. The vision is to develop novel routes for the production of a Solar-fuel, in our case H₂, from the very abundant, effectively inexhaustible resources, solar energy and water.

● **SOLARH₂ – RENEWABLE HYDROGEN FROM SUN AND WATER**

R&D 5.1.1

Lead: Unî Genève

Funding: EU-FP7

Contact: Jean-David Rochaix Jean-David.Rochaix@unige.ch

Period: 2008–2012

Abstract: The vision is to develop novel routes for the production of a Solar-fuel, in our case H₂, from the very abundant, effectively inexhaustible resources, solar energy and water. Our multidisciplinary expertise spans from molecular biology, biotechnology, via biochemistry and biophysics to organo-metallic and physical chemistry.

● **SOLAR-JET – SOLAR CHEMICAL REACTOR DEMONSTRATION AND OPTIMIZATION FOR LONG-TERM AVAILABILITY OF RENEWABLE JET FUEL**

R&D 5.1.1

Lead: ETHZ

Funding: EU-FP7

Contact: Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch

Period: 2011–2015

Abstract: The aim of the SOLAR-JET project is to demonstrate a carbon-neutral path for producing aviation fuel, compatible with current infrastructure, in an economically viable way. The SOLAR-JET project will demonstrate on a laboratory-scale a process that combines concentrated sunlight with CO₂ captured from air and H₂O to produce kerosene by coupling a two-step solar thermochemical cycle based on non-stoichiometric ceria redox reactions with the Fischer-Tropsch process.

● **SOLARGENIX – VISIBLE-LIGHT ACTIVE METAL OXIDE NANO-CATALYSTS FOR SUSTAINABLE SOLAR HYDROGEN PRODUCTION**

R&D 5.1.1

Lead: ETHZ

Funding: EU-FP7

Contact: Markus Niederberger markus.niederberger@mat.ethz.ch

Period: 2013–2015

Abstract: The project SOLARGENIX will investigate novel nanostructured photocatalysts starting from comprehensive theoretical and experimental investigations on visible-light active metal-oxides for photoelectrochemical splitting of water to target the environmental hydrogen production from saline water by sun illumination.

● **SOLHYDROMICS – NANODESIGNED ELECTROCHEMICAL CONVERTER OF SOLAR ENERGY INTO HYDROGEN HOSTING NATURAL ENZYMES OR THEIR MIMICS**

R&D 5.1.1

Lead: Solaronix SA

Funding: EU-FP7

Contact: Toby Meyer toby.meyer@solaronix.com

Period: 2009–2012

Abstract: An artificial device will be developed to convert sun energy into H₂ with 10% efficiency by water splitting at ambient temperature, including: an electrode exposed to sunlight carrying PSII or a PSII-like chemical mimic deposited upon a suitable electrode; a membrane enabling transport of both electrons and protons via e.g. carbon nanotubes or TiO₂ connecting the two electrodes and ion-exchange resins like e.g. Nafion, respectively.

- **TOWARDS INDUSTRIAL SOLAR PRODUCTION OF ZINC AND HYDROGEN – 100 KW SOLAR PILOT REACTOR FOR ZNO DISSOCIATION** P&D 5.1.1
- Lead: PSI / ETHZ Funding: BFE
- Contact: Anton Meier anton.meier@psi.ch Period: 2010–2012
- Abstract: In a pilot phase, a 100 kW solar pilot reactor will be designed and constructed adapted to the functionality of an industrial solar plant. The reactor and peripherals (feeding and off-gas system) will be tested in the 1 MW solar furnace at CNRS-Odeillo, France. The performance of the solar pilot reactor integrated with the Zn/O₂ separation device will be experimentally evaluated. The experimental data will be used to validate the numerical models.
- **ACH – ADVANCED COMPLEX HYDRIDES** R&D 5.1.2
- Lead: Empa Funding: BFE
- Contact: Andreas Züttel andreas.züttel@empa.ch Period: 2010–2014
- Abstract: The goal of the project is to explore all simple and binary complex borohydrides by means of the empirical model in order to identify interesting compounds for hydrogen storage which are less stable than required. Furthermore, a special focus will be on compounds which are liquids at room temperature. The interesting compounds will be synthesized directly from the elements and investigated by means of spectroscopic methods for their local structure and their thermodynamic properties.
- **BIMETALLIC BOROHYDRIDES: HYDROGEN STORAGE AND SUPERIONIC CONDUCTIVITY** R&D 5.1.2
- Lead: Uni Genève Funding: SNF
- Contact: Radovan Cerny Radovan.Cerny@unige.ch Period: 2010–2013
- Abstract: The aim of the project is the development of new materials – bimetallic borohydrides – as hydrogen storage materials, and as superionic conductors for battery applications. Le projet dans son contexte, son sens et son importance: Hydrogen storage for mobile applications is still an open question.
- **BOR4STORE – FAST, RELIABLE AND COST EFFECTIVE BORON HYDRIDE BASED HIGH CAPACITY SOLID STATE HYDROGEN STORAGE MATERIALS** R&D 5.1.2
- Lead: Empa Funding: EU-FP7
- Contact: Andreas Züttel andreas.züttel@empa.ch Period: 2012–2015
- Abstract: The project proposes an integrated, multidisciplinary approach for the development and testing of novel, optimised and cost-efficient boron hydride based H₂ storage materials with superior performance (capacity more than 8 wt.% and 80 kg H₂/m³). The most promising material(s), to be indicated by rigorous a down-selection processes, will be used for the development of a prototype laboratory H₂ storage system.
- **BORANE** R&D 5.1.2
- Lead: Empa Funding: SNF
- Contact: Andreas Züttel andreas.züttel@empa.ch Period: 2011–2012
- Abstract: In the project the influence of boron-hydrogen compounds on the formation and decomposition of tetrahydroborates is analyzed. The main objective is to understand the related mechanisms based on reactions of hydrogen/borane uptake and release. The understanding of these mechanisms will serve as a basis for optimization of tetrahydroborates to be used for hydrogen storage.
- **CARINHYPH – BOTTOM-UP FABRICATION OF NANO CARBON-INORGANIC HYBRID MATERIALS FOR PHOTOCATALYTIC HYDROGEN PRODUCTION** R&D 5.1.2
- Lead: Empa Funding: EU-FP7
- Contact: Roland Hischier Roland.Hischier@empa.ch Period: 2013–2015
- Abstract: This project deals with the hierarchical assembly of functional nanomaterials into novel nanocarbon-inorganic hybrid structures for energy generation by photocatalytic hydrogen production, with carbon nanotubes (CNTs) and graphene the choice of nanocarbons. The scientific activities include the development of new functionalisation strategies targeted at improving charge transfer in hybrids and therefore their photocatalytic activity.
- **CAT4ENSUS – MOLECULAR CATALYSTS MADE OF EARTH-ABUNDANT ELEMENTS FOR ENERGY AND SUSTAINABILITY** R&D 5.1.2
- Lead: EPFL Funding: EU-FP7
- Contact: Luciana Vaccaro luciana.vaccaro@epfl.ch Period: 2011–2015
- Abstract: There are two specific aims: (I) bio-inspired sulfur-rich metal complexes as efficient and practical electro-catalysts for hydrogen production and CO₂ reduction; (II) well-defined Fe complexes of chelating pincer ligands for chemo- and stereo-selective organic synthesis. An important feature of the proposed catalysts is that they are made of earth-abundant and readily available elements such as Fe, Co, Ni, S, N, etc.

- **CATALYTIC ACTIVATION OF SMALL MOLECULES: TOWARDS APPLICATIONS IN MOLECULAR ENERGY STORAGE AND DELIVERY** R&D 5.1.2
- Lead: EPFL Funding: SNF
- Contact: Gábor Laurency gabor.laurency@epfl.ch Period: 2012–2015
- Abstract: This research project is proposed for a better understanding of the fundamental aspects and the possible applications of these processes, strongly linked with the homogeneous catalytic activation of H₂, CO₂, CO and N₂, as well as small organic molecules (HCOOH, alkenes, alkynes, methanol, etc.) in aqueous solution and in different reaction media.
- **COMBINED EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDIES ON POTENTIAL HYDROGEN STORAGE MATERIALS AND ON NEW INORGANIC FLUORIDES** R&D 5.1.2
- Lead: Uni Genève Funding: SNF
- Contact: Hans Hagemann Hans-Rudolf.Hagemann@unige.ch Period: 2013–2015
- Abstract: In this project, we aim to contribute to a fundamental understanding of the nature of the boron-hydrogen bond. Vibrational spectroscopy probes directly the strength of chemical bonds. In the first part of our project, we investigate, using a combined theoretical and experimental approach, the effect of geometry changes (bond length and angles) on the vibrational spectra.
- **DEMOYS – DENSE MEMBRANES FOR EFFICIENT OXYGEN AND HYDROGEN SEPARATION** R&D 5.1.2
- Lead: ETHZ Funding: EU-FP7
- Contact: Jennifer Rupp jennifer.rupp@mat.ethz.ch Period: 2010–2014
- Abstract: The objective of this project is the development of thin mixed conducting membranes for O₂ and H₂ separation by using a new deposition technique Low Pressure Plasma Spraying Thin Film (LPPS-TF) in combination with nano-porous, highly catalytic layers. TF-LPPS is a technique based on a combination of thermal spray and Physical Vapour Deposition technology (<http://demoys.rse-web.it/>).
- **HYDYNA II** R&D 5.1.2
- Lead: Empa Funding: SNF
- Contact: Andreas Züttel andreas.zuttel@empa.ch Period: 2008–2012
- Abstract: In this project we propose to investigate the hydrogen mobility and the hydrogen dynamics of a series of p-element complex hydrides and their influence on the stability and thermodynamic properties of the respective hydrides. In order to achieve the results we will combine neutron diffraction as well as inelastic and quasielastic neutron spectroscopy measurements at SINQ (PSI), at BENSC (Berlin) and at ISIS (Didcot, UK) with nuclear magnetic resonance measurements.
- **HY-FORM 1 : PRODUCTION ET OPÉRATION D'UN NOUVEAU SYSTÈME DE GÉNÉRATION D'HYDROGÈNE DÉCENTRALISÉ** P&D 5.1.2
- Lead: Granit SA Funding: BFE
- Contact: Maurice Jutz Maurice.jutz@granit.net Period: 2010–2012
- Abstract: In diesem Pilotprojekt geht es allgemein darum, aufzuzeigen, wie ein bestehendes Wasserstofflogistiksystem für industrielle Anwendungen durch ein einfacheres und sicheres, ökonomisch wie ökologisch effizienteres System ersetzt werden könnte. Hierzu wird eine vorindustrielle Pilotanlage zur Vor-Ort- Produktion von Wasserstoff ausgehend von Formylsäure aufgebaut, an der die diversen Aspekte wie energetische, wirtschaftliche und Umwelt-Bilanz einer solchen Anlage für künftige Kunden demonstriert werden sollen.
- **IEA HYDROGEN IMPLEMENTING AGREEMENT – ANNEX FUNDAMENTAL AND APPLIED HYDROGEN STORAGE MATERIALS DEVELOPMENT** R&D 5.1.2
- Lead: Empa Funding: BFE
- Contact: Andreas Züttel andreas.zuttel@empa.ch Period: 2012
- Abstract: Task 22 addresses hydrogen storage in solid materials. Hydrogen storage is considered by many to be the greatest technological barrier to widespread introduction and use of hydrogen in global energy systems. Currently, no hydrogen storage system, including pressurized and liquefied hydrogen and hydrogen stored in solid compounds known, satisfies international targets for on-board hydrogen storage in mobile applications.
- **INFLUENCE OF BORANE ON THE SORPTION OF COMPLEX HYDRIDES** R&D 5.1.2
- Lead: Empa Funding: SNF
- Contact: Andreas Züttel andreas.zuttel@empa.ch Period: 2010–2012
- Abstract: Apart from being widely applied reagents in organic and inorganic synthesis, complex hydrides are ideal candidates to be used as future energy carriers. They can store high amounts of hydrogen per volume and hence present compounds with very high energy densities. In particular alkaline and alkaline-earth tetrahydroborates with one of the highest volumetric and gravimetric hydrogen capacity are intensively studied as hydrogen storage materials.

● **ION MOBILITY IN COMPLEX HYDRIDES**

R&D 5.1.2

Lead:	Empa	Funding:	Polish/Swiss R&D Prg.
Contact:	Andreas Züttel andreas.züttel@empa.ch	Period:	2011–2014
Abstract:	In a joint binational project, implemented under the Polish Swiss Research Programme (PSRP) we to investigate the fundamental transport properties in Li based complex hydrides, aiming to understand and to improve them with respect to potential applications as hydrogen storage materials and as solid state electrolytes.		

● **NANIBO – NANO-CONFINEMENT OF NITROGEN AND BORON BASED HYDRIDES**

R&D 5.1.2

Lead:	Empa	Funding:	SNF (nano-tera)
Contact:	Andreas Züttel andreas.züttel@empa.ch	Period:	2011–2012
Abstract:	The availability of a safe and effective way to store hydrogen reversibly is one of the major issues for its large scale use as an energy carrier. At present, no single material fulfilling all requirements is in sight. Amidoboranes and aluminium borohydride have a high hydrogen content and release hydrogen at rather the low temperatures. The main aim of this project is the development of novel and safe boron respectively nitrogen containing hydrogen storage materials with the help of nano-structures.		

● **SINDERGIA HYCARBO – SMART CARBON-BASED MATERIALS FOR HYDROGEN STORAGE**

R&D 5.1.2

Lead:	Empa	Funding:	SNF
Contact:	Andreas Züttel andreas.züttel@empa.ch	Period:	2010–2013
Abstract:	In the present project we propose to investigate on the possibility to increase the hydrogen storage capacity of carbon-based materials via chemical activation by means of alkali and alkaline earth metal intercalation. The classes of materials we propose to investigate present two distinct molecular geometry: planar carbon structures and close carbon structures.		

● **ELYGRID – HIGH PRESSURE ALKALINE ELECTROLYSERS FOR ELECTRICITY/H₂ PRODUCTION FROM RENEWABLE ENERGIES**

R&D 5.1.5

Lead:	Empa / IHT	Funding:	Empa
Contact:	Uli Vogt uli.vogt@empa.ch	Period:	2011–2014
Abstract:	The project aims to reduce the total cost of hydrogen production via electrolysis coupled to renewable energy sources, mainly wind. It is focusing on megawatt-scale electrolyzers (>0.5 MW) and current objectives are to improve system efficiency by 20% (10% stack and 10% electrical conversion) and to reduce costs by 25%. The work will be divided into three parts: cell improvements, power electronics, and balance of plant (BOP).		

● **H₂-IGCC – LOW EMISSION GAS TURBINE TECHNOLOGY FOR HYDROGEN-RICH SYNGAS**

R&D 5.1.5

Lead:	PSI	Funding:	EU-FP7
Contact:	Irene Waltherth irene.waltherth@psi.ch	Period:	2009–2013
Abstract:	The objective of this project is to provide technical solutions which allow the use of state-of-the-art highly efficient, reliable gas turbines in the next generation of IGCC plants, suitable for combusting undiluted hydrogen-rich syngas derived from a pre-combustion CO ₂ capture process. The recognised challenge is to operate a stable gas turbine on hydrogen-rich syngas with emissions and process parameters similar to current state-of-the-art natural gas turbine engines.		

● **HYDROGEN DETECTORS AND SENSORS FOR PEM FUEL CELL AND ELECTROLYSER SYSTEMS**

R&D 5.1.5

Lead:	UNIGE	Funding:	KTI
Contact:	Klaus Yvon klaus.yvon@unige.ch	Period:	2010–2013
Abstract:	Mass markets of hydrogen powered vehicles and hydrogen production units for residential areas require hydrogen detectors and sensors on a very large scale. The devices must be cheap, sensitive and selective, and allow to detect hydrogen and to monitor hydrogen-oxygen reaction processes. This project aims at developing sensing by using thin films and novel materials undergoing hydrogen-induced metal-insulator transitions		

● **NOVEL – NOVEL MATERIALS AND SYSTEM DESIGNS FOR LOW COST, EFFICIENT AND DURABLE PEM ELECTROLYSERS**

R&D 5.1.5

Lead:	PSI	Funding:	EU-FP7
Contact:	Lorenz Gubler lorenz.gubler@psi.ch	Period:	2012–2016
Abstract:	This project will take advantage of the progress beyond the state of the art achieved by the partners involved in the NEXPEL project. In the initial phase of this project, durability studies of electrolyser stacks developed in NEXPEL will be performed. The stacks will be run at different operating conditions (low pressure, constant load, fluctuating load coupled with RES).		

● PRODUCTION DE CHALEUR PAR LE BIAIS D'UNE CHAUDIÈRE À HYDROGÈNE

P&D 5.1.5

Lead: Pictet & Cie

Funding: BFE

Contact: Jean-Hugues Hoarau

jhoarau@pictet.com

Period: 2011–2014

Abstract: Es soll aufgezeigt werden, wie ein Teil des Sanitärwassers im Administrationsgebäude von Pictet & Cie in Genf erneuerbar bereitgestellt werden kann. Hierzu soll Überschussstrom einer hauseigenen PV-Anlage zur Produktion von Wasserstoff genutzt werden, welcher in einem neuartigen katalytischen Brenner eingesetzt wird. Ziele des Projektes sind das Aufzeigen von Speicheroptionen für dezentrale Produktion mit Erneuerbaren, insbesondere langfristige oder saisonale.

● IEA HYDROGEN IMPLEMENTING AGREEMENT – ANNEX HYDROGEN SAFETY

R&D 5.1

Lead: Empa

Funding: BFE

Contact: Michael Biemann

michael.biemann@empa.ch

Period: 2012

Abstract: In recent years, a significant international effort has been initiated to develop codes and standards required for the introduction of these new systems. Such codes and standards are usually developed through operating experience in actual use that is accumulated over time. Without such long term experience, there is a tendency for early codes and standards to be more restrictive to ensure that an acceptable level of safety is maintained. One possible effect is to hinder the introduction of hydrogen systems.

● IEA HYDROGEN IMPLEMENTING AGREEMENT (IEA-HIA)

R&D 5.1

Lead: BFE

Funding: BFE

Contact: Stefan Oberholzer

stefan.oberholzer@bfe.admin.ch

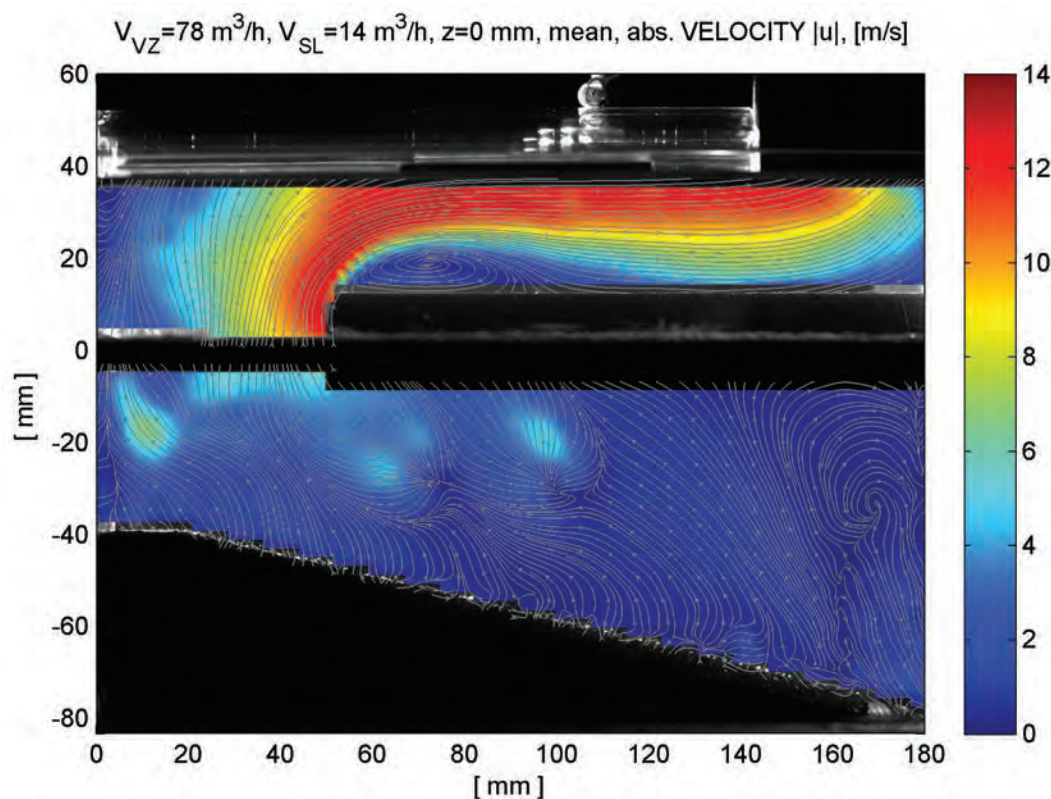
Period: 2012

Abstract: The International Energy Agency (IEA) Hydrogen Implementing Agreement (HIA) was established in 1977 to pursue collaborative hydrogen research and development and information exchange among its member countries. Through the creation and conduct of some thirty annexes or tasks, the HIA has facilitated and managed a comprehensive range of hydrogen R&D and analysis activities. The HIA is an IEA Implementing Agreement.



Sandra Hermle

Biomasse und Holzenergie



Geschwindigkeitsprofil im Modell einer Rostfeuerung gemessen mit Particle Image Velocimetry

Im Rahmen eines NFP 66 Projekts werden die Massnahmen zur Optimierung der Rostauslegung und des Rostbetriebs einer 1,2 MW Vorschubrostfeuerung untersucht und in drei Arbeitsschritten die Basis für weitere Verbesserungen des Ausbrands bei gleichzeitig tieferen Stickoxidemissionen erarbeitet: (a) Realisierung und experimentelle Evaluation einer modularen Vorschubrostfeuerung zur Ermöglichung unterschiedlicher Verbrennungsregimes, (b) Simulation der Feuerungsoptimierung in einem zweiteiligen Modellansatz, (c) Zur Validierung der Fluidodynamik im Feuerraum werden Experimente mittels dreidimensionaler Strömungsmessung unter Anwendung der Particle Image Velocimetry (PIV) durchgeführt (Quelle: HSLU).

Einleitung

In der Erneuerbaren Energien Richtlinie der Europäische Union wird Biomasse folgendermassen definiert: Biomasse ist der biologisch abbaubare Teil von Erzeugnissen, Abfällen und Reststoffen der Landwirtschaft mit biologischem Ursprung, der Forstwirtschaft und damit verbundener Wirtschaftszweige einschliesslich der Fischerei und der Aquakultur. Allein die Definition zeigt, dass Biomasse ein sehr komplexes und vielfältiges Substrat ist, wobei nicht nur die Rohstoffbasis vielfältig ist, sondern auch die daraus gewonnenen Energieträger, die Umwandlungsverfahren und Formen der Endenergie.

In den Energy Technology Perspectives (ETP 2012) der IEA [1] wird aufgezeigt, dass viele Technologien, in denen Potenzial für Energie- und CO₂-Emissionsersparungen stecken, nicht den erforderlichen Fortschritt zeigen, um die notwendige Umstellung auf eine CO₂-arme Zukunft zu vollziehen. Der Bereich der Biomassekonversion wird dabei als einer der wenigen Bereiche mit den nötigen Fortschritten gesehen. Es wird betont, dass die staatliche Unterstützung für F&E&D im Technologiebereich entscheidend ist, um erfolgsversprechende Technologien zur Marktreife zu bringen.

Innerhalb der europäischen Union spielt der SET (Strategic Energy Technology) Plan [2] der europäischen Kommission bei der Förderung der Energieproduktion aus erneuerbarer Energie eine wichtige Rolle. Im Rahmen des SET-Plans wurde die «European Industry Bioenergy Initiative (EIBI)» [3] initiiert. Ziel dieser Industrieinitiative ist die Demonstration innovativer Bioenergie-Wertschöpfungsketten mit grossem Marktpotenzial. Die Implementierung der Initiative erfolgt

durch Errichtung von Demonstrationsanlagen unter anderem über ein ERA-NET-Plus-Programm (Finanzierungsinstrument der Europäischen Kommission). Im Jahr 2012 wurde der Call von 8 Ländern bzw. Regionen erarbeitet, darunter auch die Schweiz [4]. Mit Hilfe des Calls sollen gemeinsame Bioenergieprojekte realisiert werden, welche innovativ sind und in einer Demonstrationsanlage auf vor-kommerzieller Stufe realisiert werden. Der Call wurde am 07.01.2013 lanciert.

In der Schweiz soll mit dem *Aktionsplan koordinierte Energieforschung Schweiz* die Energieforschung einen relevanten Beitrag zur Umsetzung der Ziele der Energiestrategie 2050 leisten. Dies soll über den Ausbau der Kapazitäten für prioritäre Forschungsbereiche, die Optimierung der Strukturen der Energieforschung, die Abstimmung der Fördermassnahmen für Grundlagenforschung, angewandte Forschung, P&D Projekte und Wissens- und Technologietransfer (WTT) zwischen den Hochschulen und der Wirtschaft und einer Verstärkung der Integration der Energieforschung in Programme der EU erfolgen. Ein Element des Aktionsplans ist der Aufbau von Kompetenzzentren in verschiedenen Technologiebereichen, u. a. bei der Biomasseforschung. Zurzeit erfolgt eine inhaltliche Präzisierung zu Forschungsthemen, welche in den Kompetenzzentren bearbeitet werden sollen, wobei der Aktionsplan langfristig ausgelegt ist (Horizont 2020).

Die internationalen Forschungsschwerpunkte bezogen auf die einzelnen Konversionstechnologien, welche für die Schweiz relevant sind, sind vielfältig. Im Bereich der Verbrennung von holziger Biomasse stehen Aerosole, Torrefizierung, die Verbrennung in kleinen Bio-

massekesseln und -feuerungen, WKK-Anlagen, Ascheverwertung, Zuführung von Biomasse, Modellierung mittels CFD (Computational Fluid Dynamics) und gesundheits- und sicherheitsrelevante Aspekte im Fokus. Diese Themen wurden auch am 12. Holzenergie-Symposium [5], welches im September 2012 stattfand, innerhalb verschiedener thematischer Blöcke aufgegriffen.

Im Bereich der Vergasungstechnologie wichtige Forschungsthemen sind die Optimierung von Anlagenkonzepten für die Produktion von Strom und Wärme, synthetisches Erdgas (SNG), Alkohole und BtL-Treibstoffen (Biomass-to-Liquid). Hier geht es sowohl um die Prozess-, als auch die Komponentenoptimierung.

Schwerpunktt Themen, welche bei der anaeroben Vergärung international von Bedeutung sind, betreffen die Aufbereitung und Einspeisung von Biogas, die Vorbehandlung von Gärsubstraten, die Prozessoptimierung, die Gärrestverarbeitung und das Thema Emissionen.

Energietechnologien werden vermehrt ineinander greifen, was eine gemeinsame Weiterentwicklung bedingt. Gemäss ETP 2012 [1] wird ein CO₂-armes Energiesystem viele verschiedene Energiequellen umfassen, was bedeutet, dass das zukünftige Energiesystem integrierter sein muss, komplexer sein und eine stärker dezentrale Erzeugungsstruktur aufweisen wird. Dementsprechend werden auch in der Biomasseforschung Fragestellungen an Bedeutung gewinnen, welche im Zusammenhang mit der Kombination von verschiedenen Technologien und der Integration in das gesamte Energieversorgungssystem stehen.

IEA Klassifikation: 3.4 Bio-Energy

Schweizer Klassifikation: 2.4 Biomasse und Holz

Programmschwerpunkte

Das Forschungsprogramm *Biomasse und Holzenergie* des BFE leistet einen wichtigen Beitrag zur effizienten Nutzung der nationalen Biomasse zur Energieproduktion. Im Fokus der Forschungsförderung stehen die drei Technologien Biomasseverbrennung, Biomassevergasung und anaerobe Vergärung. Alle drei Technologien werden anhand von Forschungsfragen an Schweizer Hochschulen, Fachhochschulen, KMUs und privaten Büros untersucht, um die Verfahren zu optimieren, den Wirkungsgrad zu steigern und die Emissionen zu senken.

Rückblick und Bewertung 2012

Im Berichtsjahr 2012 stand bei der anaeroben Vergärung die Optimierung der Prozesse z. B. im Hinblick auf Emissionen, Vorbehandlung von Substraten, Nachbereitung des Gärguts und Berücksichtigung von Hygieneaspekten im Vordergrund. Ebenfalls um die Frage der Optimierung geht es bei einem laufenden Projekt im Holzfeuerungs-bereich, wo die Schadstoffreduktion im Fokus stand. Die Emissionsthematik wurde sowohl im Vergärungsbereich (Methan- und Geruchsemissionen), als auch im Holzbereich (Verfügbarkeit und Einbindung von Partikelabscheidern bei automatischen Holzfeuerungen) in Projekten bearbeitet. Ferner läuft ein P&D-Projekt im Bereich Holznutzung aktiv, welches sich mit der Entwicklung einer marktreifen Technik für die kombinierte Steigerung der Energieeffizienz (durch

Wärmerückgewinnung aus den Abgasen) und die Reinigung der Abgase bei Holzfeuerungen beschäftigt. Ein weiteres P&D-Projekt wurde im Berichtsjahr abgeschlossen und hatte die Entwicklung eines holzbefeuerten BHKW mit Heissluftturbine im Pilotmassstab zum Ziel.

Neben der Untersuchung aktueller Fragestellungen mittels wissenschaftlicher Untersuchungen in einzelnen Forschungsprojekten ist die Vernetzung der Akteure in der Biomasseszene ein wichtiger Aspekt, um Erkenntnisse kritisch zu diskutieren und publik zu machen. Im Jahr 2012 wurde das alle zwei Jahre stattfindende Holzenergiesymposium [5] mit rund 300 Teilnehmern aus dem In- und Ausland durchgeführt. Diese Veranstaltung ist fest in der Holzenergieszene etabliert und geniesst grosses Ansehen, was auch die grosse Teilnehmerzahl bestätigt. Ziel des Symposiums ist der Erfahrungsaustausch von Fachleuten und Interessenten über Entwicklungen und Trends im Bereich der Bioenergie.

Die jährlich stattfindende Nanoparticles Conference wurde auch 2012 mit mehr als 400 internationalen Teilnehmern erfolgreich durchgeführt. Der Fokus dieser Konferenz liegt auf der Bildung von Nanopartikeln durch Verbrennungsprozesse, wobei technische Aspekte ebenso diskutiert werden wie Umwelt- und Gesundheitsaspekte. Der Fokus liegt auf der motorischen Verbrennung, wobei auch Beiträge zur Verbrennung von Holz Eingang fanden.

Ausblick

In Zukunft wird die Förderung von P&D-Anlagen von marktnahen Entwicklungen im Biomassebereich eine wichtige Rolle spielen. Für möglichst tiefe spezifische Kosten sind tiefe Investitionskosten und ein hoher Nutzungsgrad wichtige Voraussetzungen. Gleichzeitig gilt es auch, bestehende Anlagen und Prozesse betreffend Betriebskosten zu optimieren, und auch mit anderen Technologien – wo sinnvoll – zu kombinieren. Bei der Erzeugung von Strom im Rahmen der Biomassenutzung fällt in erheblichem Masse Wärme an. Um die Energieausbeute bei der Nutzung von Biomasse zu optimieren, gilt es, diese Wärme zu nutzen (optimale Standorte, neue Konzepte, bessere Anlagenintegration). Um die Förderung der Verwendung von biogenen Abfällen, Hofdünger und Reststoffe, welche sich günstig auf die Nachhaltigkeit und Treibhausgasbilanz der ganzen Kette auswirken und die ein grosses Potenzial besitzen, zu stärken, sollen neue Technologien zur möglichst vollständigen Umsetzung der Abfallbiomasse und zur Wiederverwertung der Reststoffe entwickelt werden. Für die rasche Umsetzung ist nicht nur die Vernetzung der Forscher von Bedeutung, sondern in erster Linie die Vernetzung von Industrie und Forschung.

Highlights aus Forschung und Entwicklung

Im Berichtsjahr wurde bei der Technologie der anaeroben Vergärung aktuelle Fragestellungen bearbeitet, welche die ganze Prozesskette vom Eintrag des Substrats in den Fermenter über die Verfahrenstechnik bis hin zur Nachbereitung und den Emissionen einbeziehen.

Optimierung der Vergärung und Nachbereitung von Gärgut

Innerhalb der Studie «Massnahmen zur Optimierung der Vergärung durch Vorbehandlung, Prozess- und Verfahrenstechnik und Hilfsstoffe» [6] wurden 28 verschiedene biochemisch aktive Zusätze (z. B. Enzymmischungen, Hemicellulasen, Lipasen, Pektinasen etc.) und fünf chemisch-physikalische Vorbehandlungsmethoden (Ultraschall, Ozon, Mikrowelle, alkalische Hydrolyse, Wärmebehandlung) an vier Substratklassen (Rindergülle, Silage, Klärschlamm, Proteinsubstrat), die für die Schweiz aus energetischer Sicht relevant sind, untersucht. Aufgezeigt werden soll, welche Vorbehandlungsmethoden vielversprechend bezüglich Steigerung der Biogasausbeute und Erhöhung des Methananteils sind. Ausserdem sollen die eingesetzten Methoden im Hinblick auf Ökonomie, Ökologie und Energieverbrauch bewertet werden.

Es konnte gezeigt werden, dass Enzymprodukte nur für eine kurze Zeitdauer von 30 bis 120 Minuten wirken, da offensichtlich Hemmeffekte auftreten, die bei den verschiedenen Substraten unterschiedlich stark ausfallen. Für eine effektive Wirksamkeit müssten Enzyme praktisch kontinuierlich während der Vergärung zu dosiert werden, was ökonomisch nicht rentabel wäre. In mesophilen Langzeit-Gasbildungsversuchen konnte gezeigt werden, dass Rindergülle sehr resistent gegenüber dem enzymatischen Angriff ist, während Grüngut moderate Steigerungen von bis zu 13 % zeigt. Bei Klärschlamm weisen Enzyme allein kaum eine Wirkung auf, wogegen in der Kombination mit Wärme ein Methanmehrertrag von bis zu 30 % erreicht wurde. Es gilt jedoch zu beachten, dass die meisten Produkte nicht für die untersuchten Substrate entwickelt und optimiert wurden, sondern für den globalen nachwachsende-Rohstoffe-Markt.

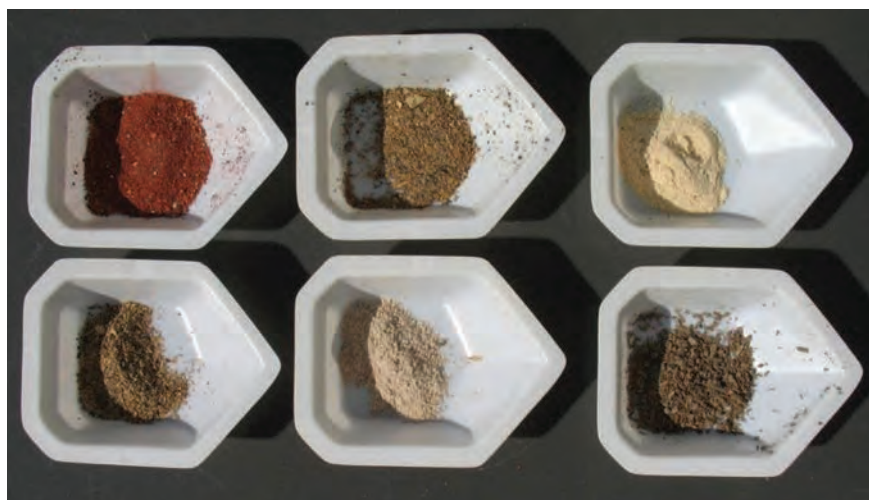
Bezüglich chemisch-physikalischer Vorbehandlungsmethoden hatte Wärme einen positiven Effekt auf die Gasbildung (Gasertrag) bei allen untersuchten Substraten: Rindergülle +47 % im, Klärschlamm +15 % und Proteinsubstrate +30 %. Wichtig ist festzuhalten, dass erst Temperaturen ab 120 °C ein durchwegs positives Ergebnis zeigt (siehe Figur 1). Die Kombination von Wärme und Enzymen zeigen oft positive synergetische

Effekte, so kann bei Klärschlamm mit nur 70 °C und Enzymzusätzen ein Gasmehrertrag von bis zu 30 % erreicht werden.

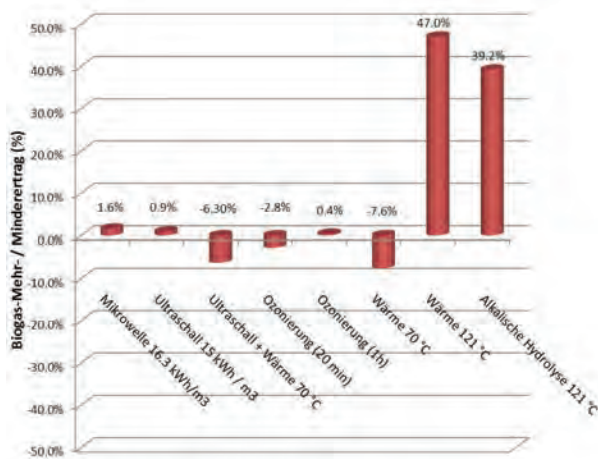
Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass bei «milden» Substrat-Vorbehandlungsmethoden der Methanmehrertrag gering bis nicht vorhanden ist. Höherer Energieeinträge bringen zwar eine deutliche Steigerung des Gasertrags, jedoch sollte der erforderliche Energieaufwand beachtet werden. Nicht unterschätzt werden darf das Restgaspotenzial, das bei verschiedenen Substratgruppen unterschiedlich ausfällt. Wird die Vergärungsdauer dem Substrat angepasst, so kann bis zu 18 % Mehrertrag erzielt werden, was mit einer Reduktion der umweltrelevanten Methanemissionen einhergeht. Ökonomisch betrachtet darf die Substratvorbehandlung bei relativ verdünnten Substraten wie Rinderdüngülle oder Klärschlamm nur wenig kosten. Um einen Methanmehrertrag von 10 % zu erzielen, können nur etwa 0,35 CHF pro Tonne aufgewendet werden. Viele energieaufwändige Methoden oder teure Produkte zur Vorbehandlung scheiden damit im Vorfeld aus.

Fazit ist, dass eine effiziente Nutzung und Übertragung von Wärme zur Substratvorbehandlung die Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen erhöhen kann.

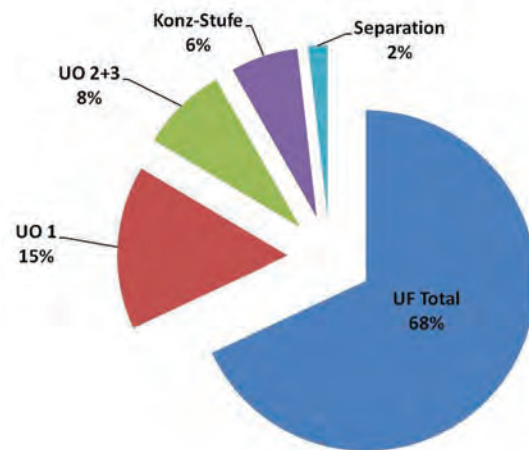
Neben der Vorbehandlung von Substrat kann auch das gewonnene Gärgut nachbereitet werden, um die Nährstoffe in konzentrierter Form nutzen zu können. Im Projekt «Nachbereitung von Gärgut» soll untersucht werden, ob die Aufbereitung von Gärgut in einer Region, in welcher die im vergorenen Material enthaltenen Nährstoffe nicht vollständig in der unmittelbaren Umgebung der Biogasanlage ausgebracht werden können, aus energetischer, ökologischer und ökonomischer Sicht Sinn macht. Ein Ziel der Aufbereitung der Gärreste aus der Trocken- und Nassvergärung ist die Erhöhung der Transportwürdigkeit der flüssigen Gärreste durch Konzentration der Nährstoffe. Die zu transportierenden Volumina lassen sich bei gleichen Nährstofffrachten wie in unbehandeltem Material um bis zu 80 % reduzieren. Allerdings ist dabei – neben zusätzlichen



Figur 1: Enzymprodukte und Zusätze. Obere Reihe von links nach rechts: Enzymmischung mit Zusatzstoffen D, Enzym K, Enzymmischung A; untere Reihe: Enzymmischung E, Mikroorganismen mit Hilfsstoffen C, Mikroorganismenprodukt B (ZHAW).



Figur 2: Zusammenfassung verschiedener physikalischer und chemischer Vorbehandlungsmethoden auf den kumulierten Gasertrag aus Rindergülle. Die Kontrolle betrug 363 NL Biogas/kg OTS (organische Trockensubstranz) (ZHAW).



Figur 3: Anteile des Energiebedarfs nach Messgruppen bei der Nachbereitung von Gärgut auf der Anlage SFP Inwil (Engeli engineering).

Investitionen – ein erheblicher Energieinput für den Betrieb der Aufbereitungsanlagen erforderlich, welcher den Einsparungen beim Transport und gegebenenfalls der Nährstoffausbringung gegenübergestellt werden muss.

Das Projekt ist in die Module Energie, Emissionen, Nährstoffe und Hygiene unterteilt. Die Untersuchungen werden am Beispiel der Anlage «Swiss Farmer Power» in Inwil durchgeführt, wo eine Nährstoffaufbereitung mit fest/flüssig-Trennung, Ultrafiltration und Umkehrosmose in Betrieb ist.

Der Energiebedarf der einzelnen Verbraucher der Gärrestaufbereitung wurde im Modul Energie kontinuierlich erfasst. Es zeigte sich, dass der Energieaufwand im Mittel rund 22 kWh/t ($\pm 10\%$) beträgt. Mehr als zwei Drittel des Energieaufwands ist für die Ultrafiltration nötig und knapp 30 % für die 4-stufige Umkehrosmose, während die erste fest/flüssig-Trennung rund 2 % verbraucht (Figur 2). Der Energieaufwand für die Nachbereitung entspricht rund 15 % des Energieertrags im produzierten Biogas (ohne Transport und Ausbringung).

Im Modul Emissionen konnte festgestellt werden, dass bei der Aufbereitung des Gärguts kaum Emissionen zu erwarten sind und die Emissionsunterschiede bei der Lagerung von Produkten kaum Ein-

fluss haben. Die Arbeiten im Jahr 2013 werden sich deshalb vermehrt auf die Emissionen bei der Ausbringung konzentrieren. Literaturstudien belegen, dass durch den hohen pH-Wert des Konzentrats von 8,1–8,3 rund 10 % des Ammoniums als Ammoniak vorliegt, welcher sich verflüchtigen kann, dementsprechend aus dem Ammoniumdepot sofort wieder ersetzt wird, was zu weiteren Emissionen führt. Um dieses Problem besser verstehen zu können, werden in der Vegetationsperiode 2013 Feldversuche mit der Ausbringung von Konzentrat durchgeführt.

Im Modul Nährstoffe geht es um die Erarbeitung quantitativer Angaben über das Vorliegen von Nährstoffen und Schwermetallen in den einzelnen Stoffströmen der Anlage. Es konnte gezeigt werden, dass von den durchschnittlich 140 m³/d zugeführtem Gärgut (87 %) plus Prozesswasser (13 %) ein Drittel abgetrenntes Material wieder in die Vergärung zurückgeführt wird. Ein weiteres Drittel wird als Permeat der ARA zugeführt, rund ein Fünftel verlässt die Anlage als Nährstoffkonzentrat und ca. 14 % als festes Gärgut. Der Gehalt an Ammonium beim Input beträgt 2,2 g/l und wird im Konzentrat auf ca. 7,5 g/l aufkonzentriert. Beim Phosphor wurde im Konzentrat eine Reduktion der Ausgangskonzentration von 0,7 auf 0,09 g/l

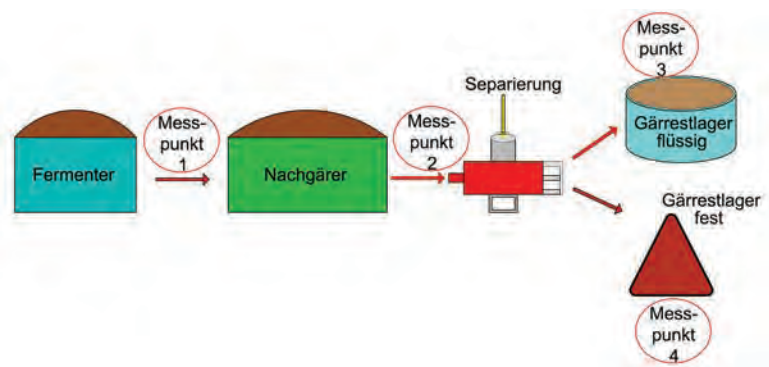
gemessen, der Phosphor verlässt die Anlage vorwiegend im Feststoff. Weitere Nährstoffe (K, Ca, Mg, S) und Schwermetalle (Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) werden in einem nächsten Schritt untersucht werden. Zum Hygienemodul liegen bis zum jetzigen Zeitpunkt noch keine Resultate vor.

Methanverluste bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen

Methanemissionen bei Biogasanlagen verursachen zum einen Ertragseinbußen und zum anderen belasten sie die Umwelt. Ziel dieses Projekts war die Emissionsquellen bei Biogasanlagen aufzuzeigen und mögliche Minderungsmaßnahmen vorzuschlagen.

Aufgrund einer Befragung auf 38 landwirtschaftlichen Biogasanlagen wurden 12 repräsentative Anlagen (Kriterien: Speicherverfahren, Durchflussverfahren, Zusatzkriterien) ausgewählt, um diese mittels einer Gaskamera (GasCam) auf Methanverluste zu untersuchen. Mit dieser Methode können die Emissionsquellen ausfindig gemacht, jedoch nicht quantifiziert werden.

Es konnten auf allen Anlagen Lecks gefunden werden, jedoch war die Anzahl



Figur 4: Schematische Darstellung der Vorgehensweise bei der Probenahme von Gärresten (Agroscope, ART).

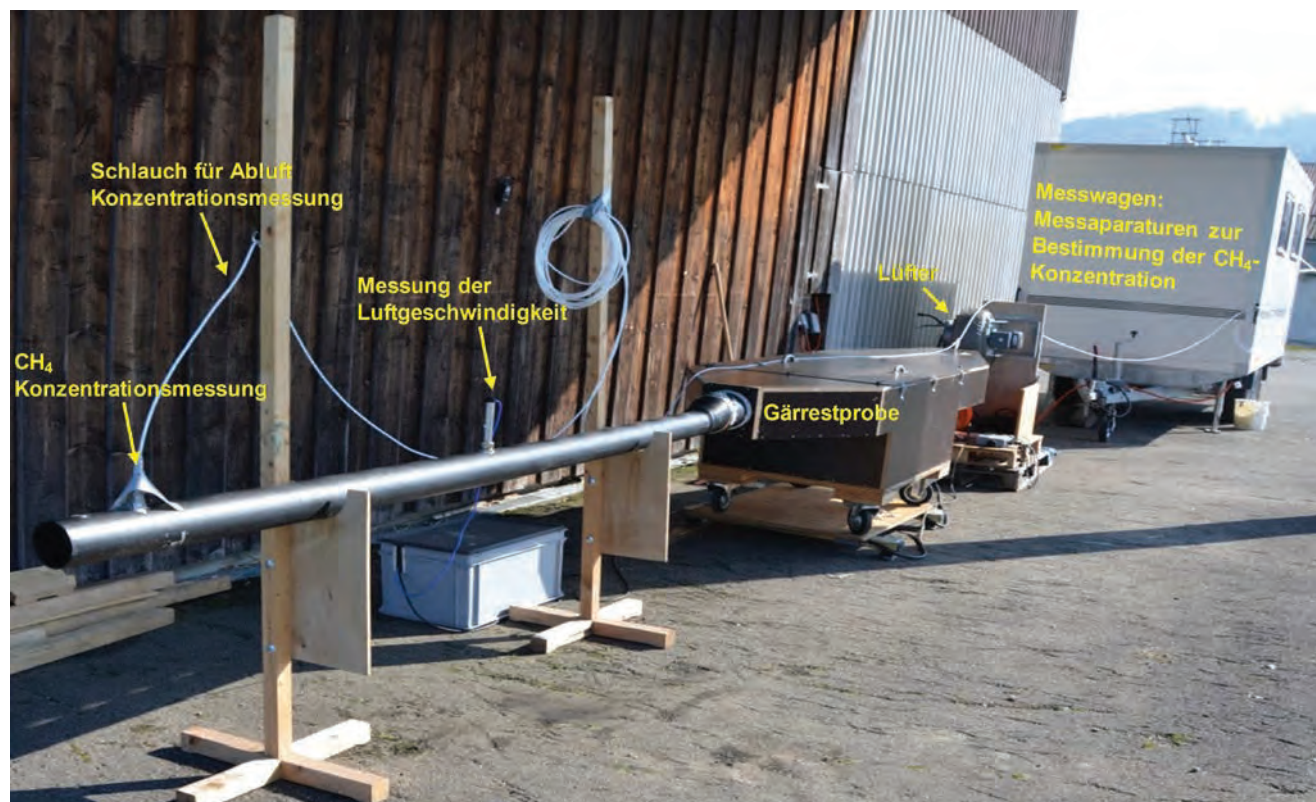
der Lecks pro Anlage sehr unterschiedlich. Fast die Hälfte der Anlagen wiesen Methanverluste im Bereich des Übergangs der Gashaube zur Fermenterkrone auf. Ebenfalls oft traten Methanverluste bei Wanddurchbohrungen oder -aussparungen auf.

Neben diesen punktuellen sind Flächenquellen wie Gärrestlager und Vorgrube hinsichtlich Methanemissionen von grosser Bedeutung. Zur Quantifizierung der Gärrestemissionen nach Vergärungs- oder Behandlungsstufen Fermenter,

Nachgärer und Separator wurde die Methode der dynamischen Durchflusskammer verwendet (Figur 2). Auf 3 Biogasanlagen wurden unter Berücksichtigung aller vier Jahreszeiten Messungen durchgeführt. Zusätzlich wurde von jeder Gärrestprobe das Methanrestpotenzial mit Hilfe des Hohenheimer Biogasertragstests unter Laborbedingungen bestimmt. Die in der Durchflusskammer gemessenen Emissionen betrugen bei den Fermenter-Gärresten 2–37 %, bei den Nachgärer-Gärresten 2–24 %, bei den separierten flüssigen Gärresten 3–37 % und bei den separierten festen Gärresten 0–20 % des Methanrestpotenzials. Die Gärreste aus dem Fermenter emittierten etwa 2 % in Bezug auf die Gasproduktion im Fermenter. Beim Nachgärer und den flüssigen Gärresten waren es etwas 0,5 %, bei den festen Gärresten weniger als 0,1 %.

bei den separierten flüssigen Gärresten 3–37 % und bei den separierten festen Gärresten 0–20 % des Methanrestpotenzials. Die Gärreste aus dem Fermenter emittierten etwa 2 % in Bezug auf die Gasproduktion im Fermenter. Beim Nachgärer und den flüssigen Gärresten waren es etwas 0,5 %, bei den festen Gärresten weniger als 0,1 %.

Die meisten festgestellten punktuellen Methanverluste sind auf konstruktive Mängel oder unzureichende Wartung zurückzuführen. Die wirksamste Massnahme zur Reduktion der Methanemissionen aus Gärresten ist die Verringerung deren Methanrestpotenzials. Lange Verweilzeiten und zweistufige Anlagen mit Fermenter und Nachgärer ermöglichen eine grössere Methanausbeute bei der Vergärung. Durch eine gasdichte Abdeckung des flüssigen Endlagers mit Nutzung des anfallenden Biogases lassen sich Methanemissionen während der Lagerung vermeiden. Die Separierung der Gärreste in eine flüssige und eine feste Phase trug nicht zur Verringerung der gesamten Methanemissionen bei.



Figur 5: Messeinrichtung zur Quantifizierung der Methanemissionen aus Gärresten (Agroscope, ART).

Pilot- und Demonstrationsprojekte

Torrefizierung von Biomasse

Die Torrefizierung von Biomasse dient der Erhöhung der massen- und volumenbezogenen Energiedichte und damit des Heizwerts des Rohmaterials, der Steigerung der Transportwürdigkeit oder der Reduktion des Aufwands bei einem nachfolgenden Zermahlen von Biomasse (z. B. bei der Zufeuerung von Biomasse).

Ziel dieses Projektes war die Konstruktion einer Torrefizierungsanlage im Labormassstab (Figur 4), um verschiedene Substrattests zu fahren und die Anlage in einem zweiten Schritt zu optimieren. In einem ersten Schritt wurden Batch Versuche an einem Versuchsofen mit 500 g Material durchgeführt, um einen ersten Anhaltspunkt zu den Verfahrensbedingungen (Dauer, Massenverlust, oberer Heizwert, Zusammensetzung des produzierten Gases (Torgas)) zu erhalten. Getestet wurden folgende Substrate: verschiedene Hackschnitzel, Astmaterial und Gärreste aus Kompogas-Anlagen. Im Anschluss an die Batchversuche erfolgte die Auslegung und Konstruktion einer kontinuierlich betriebenen Laboranlage. Berechnungen zeigten, dass es theoretisch möglich sein sollte, den Prozess autotherm zu betreiben, sobald die Torrefizierung und die Verbrennung des Torgases ablaufen. Um dieses Ziel zu erreichen ist es unabdingbar, den Energiebedarf und die Energieverluste der Anlage zu kennen. Folgende Biomasse-sortimente wurden in der Laboranlage torrefiziert: Gärreste aus Kompogas-Anlagen, Astmaterial und Weizenkleie. Das Material wurde zuerst grob zerkleinert und dann mit einem Schlegelmulchgerät auf 20 x 20 mm grosse Stücke reduziert



Figur 6: Pilotanlage zur Torrefizierung von Biomasse (HEIG-VD).

und in einem Ofen getrocknet. Für einen industriellen Betrieb liegen die Dimensionen des einzubringenden Substrats bei 40 x 40 x 4 mm (LBD). Das zerkleinerte Material gelangte über einen Fülltrichter und eine Schleuse über eine Förderschnecke in die Reaktionskammer, die elektrisch durch Wärmeleitung beheizt wurde. Bei einer industriellen Anlage soll die Wärmebereitstellung über die Verbrennung des Torgases erfolgen.

Erste Versuche auf der Laboranlage zeigten, dass der Wärmebedarf für die Torrefizierung tiefer ist, als die Wärme-produktion durch die Verbrennung des Torgases. Der Heizwert des Torgases wurde in der Versuchsperiode 2012

aufgrund des gemessenen oberen Heizwertes für Astmaterial und dem Massenverlust auf 17,6 MJ/kg berechnet. Es ist angedacht das Torgas mittels eines Porrenbrenners oder einer Mikrogasturbine zu nutzen. Der Heizwert des torrefizierten Materials wurde mit 21 MJ/kg gemessen, wobei die Reaktionszeit für die Torrefizierung 20 Minuten betrug.

In einem nächsten Schritt sollen die Emissionen in Bezug auf die Einhaltung der Luftreinhalteverordnung (LRV) genauer untersucht werden. Gleichzeitig sollen Versuche mit torrefiziertem Material in Pelletöfen und -kesseln gefahren werden.

Nationale Zusammenarbeit

Das Forschungsprogramm *Biomasse und Holzenergie* pflegt eine intensive Zusammenarbeit mit Hochschulen, Universitäten, privaten Forschungsstellen und Kompetenzzentren.

BFE-intern arbeitete man auch im Jahr 2011 eng mit dem Marktbereich zusammen, um marktrelevante Bedürfnisse im Forschungsprogramm aufzunehmen. In der Begleitgruppe des Forschungsprogramms haben deshalb sowohl die Marktbereichsleiter Biomasse (Sektion Erneuerbare Energien), als auch die Mandatsträger von EnergieSchweiz Einsitz, wodurch sowohl der Informationsfluss, als auch angeregte fachliche Diskussionen gewährleistet sind. Gleichzeitig erfolgt ausserhalb der Begleitgruppe auch ein Austausch mit anderen Forschungsprogrammen des BFE, welche thematisch eng mit dem Forschungsprogramm *Biomasse und Holzenergie* verknüpft sind (z. B. *WKK, Industrielle Prozesse*).

Alle zwei Jahre findet das vom BFE und Verenum organisierte Holzenergie-Symposium statt, welches nationale und internationale Fachleute im Bereich Holzenergie zum Austausch zusammenbringt, um die neuesten Trends und

Entwicklungen zu diskutieren. Im Jahr 2012 begann das Symposium mit einem Einleitungsblock zum Thema «Holzenergienutzung in der Energiestrategie 2050», gefolgt von einem Technik- und einem Umsetzungsteil. Den Abschluss bildeten verschiedene Referate zu den neusten Trends bei der Holzenergienutzung.

Im Frühjahr 2012 fand das jährlich 4-mal stattfindende LCA (Life Cycle Analysis) Forum auf Wunsch des BFE in Bern statt, wobei das Thema «LCA of energetic biomass utilization» gewählt wurde. Es wurden LCA-Projekte, welche vom BFE unterstützt wurden, einem breiten Publikum vorgestellt und diskutiert.

Auch die Ämter übergreifende Zusammenarbeit spielt innerhalb des Forschungsprogramms eine wichtige Rolle. Neben der vom BAFU initiierten Koordinationsgruppe Ökobilanzen (Einsitz von BAFU, BBL, BFE, SECO) wurde mit verschiedenen Sektionen des BAFU und auch mit dem BLW der Austausch gepflegt. Ein weiteres Instrument zum ämterübergreifenden Austausch ist die AG Biomasse mit Einsitz von ARE, BAFU, BLW, BVet, EAV, EZV, und Seco.

Internationale Zusammenarbeit

International Energy Agency (IEA): Das BFE ist Mitglied beim Implementing Agreement Bioenergy der IEA [7], welches aus 13 Tasks besteht. Die Schweiz arbeitet in drei Tasks aktiv mit. Generell haben die Schweizer Vertreter in dem jeweiligen Task zum Ziel, den internationalen Stand von Technik, Forschung und Marktumsetzung zu kennen und in der Schweiz zu vermitteln, und Schweizer Erfahrungen einzubringen.

Task 32: Biomass Combustion and Co-Firing: Ziel des IEA Bioenergy Task 32 ist die Förderung des vermehrten Einsatzes von Biomasse in Verbrennungsanlagen zur Energienutzung und Substitution von fossilen Energien [8]. Dazu sollen Schwachstellen der heutigen Versorgung identifiziert und in internationaler Zusammenarbeit an deren Lösung gearbeitet werden. Im Weiteren sollen die Potenziale der zur Biomasseverbrennung geeigneten Sortimente abgeschätzt und so ein sinnvoller Ausbau der Biomasse unterstützt werden. Die IEA sichert dazu einen Erfahrungsaustausch über Methoden und Verfahren zur Verbesserung der Effizienz und Umweltverträglichkeit von Anlagen zur Biomasseverbrennung. Schwerpunkt im Berichtsjahr waren die Ausarbeitung des Dreijahresplans und die IEA Konferenz in Wien [10]. Bezüglich des Arbeitsplans wurden aus der Schweiz zwei Projekte vorgeschlagen: die Analyse von Fernwärmenetzen und eine Stellungnahme zu Aerosolen.

Task 33: Thermal Gasification of Biomass: Dieser Task [9] begleitet die Forschung, Umsetzung in Pilot- und Demonstrationsanlagen sowie die Markteinführung und den kommerziellen Anlagenbetrieb der thermischen Vergasung von Biomasse. Konzepte für Kleinanlagen im kW-Bereich als auch für Grossanlagen im 100 MW-Bereich und grösser stehen zur Diskussion. Forschungsthemen im Bereich Vergasung sind: (1) Optimierung der Anlagenkonzepte für CHP, SNG, Mixedfuel- und Biofuel-Produktion; (2) Prozessoptimierung für die Herstellung von SNG, Mixedfuel, BtL; (3) Komponentenoptimierung: Gasreinigung, Filterkonzepte, Optimierung der Synthetisierung; und (4) Verbesserung des gesamten Anlagen-Wirkungsgrades auf den verschiedenen Verfahren. Im vergangenen Jahr führte der Task im Rahmen seines Frühjahrsmeetings einen Workshop zum Thema «Bed Materials» durch und organisierte eine Session bei der IEA Bioenergy Conference 2012 [10].

Task 37: Energy from Biogas and Landfill Gas: Die übergeordnete Aufgabe des Tasks [11] ist der Informationsaustausch über die Technik der anaeroben Vergärung. Dazu gehört die Gärtechnik, Beurteilung von Substraten, Nutzung von produziertem Biogas sowie der Einsatz des Gärguts als organischer Dünger. Der Task organisierte im Jahr 2012 anlässlich seines Frühjahrestreffens einen Workshop

zum Thema «Biogas in the Loop of Recycling» und organisierte eine Session bei der IEA Bioenergy Conference 2012 [10]. Innerhalb des Tasks sind verschiedene technische Broschüren in Bearbeitung bzw. wurden publiziert (z. B. Quality management of digestate from biogas). Ebenfalls wurden zahlreiche Erfolgsgeschichten veröffentlicht. Im Folgenden sind einige Schwerpunkte für das kommende Triennium (2013–2015) genannt: Vergärung von Klärschlamm; Aufbereitungstechniken für Gärgut, im Hinblick auf Nährstoffregeneration; Integration der Vergärung in andere industrielle Prozesse für einen besseren Ressourcenverbrauch und eine Reduzierung von Treibhausgasemissionen; Emissionsmanagement bei der Biogasproduktion über die gesamte Prozesskette hinweg.

IEA Advanced Motor Fuels ExCo: Das BFE ist ebenfalls Mitglied im Implementing Agreement Advanced Motor Fuels (AMF) der IEA [12]. Das Meeting des Executive Committees von IEA AMF wurde im Frühjahr 2012 in der Schweiz durchgeführt mit einem Exkursionstag zu IEA AMF relevanten Projekten am PSI und der Empa. Mit 44 Teilnehmern aus 17 verschiedenen Ländern konnte ein Rekord aufgestellt werden.

SET Plan: Das BFE nimmt eine Koordinationsfunktion bei der European Industrial Bioenergy Initiative (EIBI) des SET-Plans (European Strategic Energy Technology Plan) [2, 3] der Europäischen Kommission ein. Im Berichtsjahr wurde ein Proposal für die Lancierung eines ERA-NET Plus Calls erarbeitet, welcher Anfang Januar 2013 publiziert wurde. Ziel dieses Calls ist die Implementierung von Bioenergie-Demonstrationsprojekten gemäss EIBI Implementation Plan. Insgesamt stehen 7 Wertschöpfungsketten im Fokus (sowohl thermochemisch, als auch biochemisch), wobei die Schweiz am thermochemischen Umwandlungspfad der Vergasung interessiert ist.

Die alljährlich stattfindende Nanoparticles Conference (auch unterstützt vom BFE) [13] griff 2012 das Thema «How to regulate ambient nanoparticles» auf. Nationale und internationale Experten diskutierten zum Thema Nanopartikel und deren Inhaltstoffe, black carbon, Metalloxide etc., von deren unterschiedlicher Toxizität, von ihren Klimawirkungen und gezielten Massnahmen und Bewertungen. Mit mehr als 400 Teilnehmern war die Veranstaltung ein voller Erfolg.

Referenzen

[1] IEA, *Energy Technology Perspectives* (2012): www.iea.org/etp/

[2] Europäische Kommission: *Strategic Energy Technology Plan (SET-Plan)* (2008) (http://ec.europa.eu/energy/technology/set_plan/set_plan_en.htm)

[3] Europäische Kommission: *European Industry Bioenergy Initiative (EIBI)* (2008) (<http://setis.ec.europa.eu/newsroom-items-folder/european-industrial-bioenergy-initiative-eibi-news-1>)

[4] www.eranetbestf.net/

[5] BFE, Verenum (2012): 12. Holzenergiesymposium: Holzenergie-Nutzung in der Energiestrategie 2050 (www.holzenergiesymposium.ch/)

[6] BFE, ZHAW, Ingenieurbüro Hersener, Meritec AG (2012): *Massnahmen zur Optimierung der Vergärung* (www.bfe.admin.ch/forschungbiomasse/02390/02720/03176/index.html?lang=de&dossier_id=05706)

[7] International Energy Agency (IEA) *Implementing Agreement Bioenergy* (www.ieabioenergy.com)

[8] *Implementing Agreement Bioenergy Task 32* (www.ieabcc.nl)

[9] *Implementing Agreement Bioenergy Task 33* (www.ieata-sk33.org)

[10] IEA Bioenergy Conference 2012 (www.ieabioenergy2012.org/)

[11] *Implementing Agreement Bioenergy Task 37* (www.iea-biogas.net)

[12] *Implementing Agreement Advanced Motor Fuels* (www.iea-amf.vtt.fi/)

[13] BFE, ETHZ, PSI (2012): 16th ETH-Conference on Combustion Generated Nanoparticles (www.lav.ethz.ch/nanoparticle_conf/Former)

Laufende und im Berichtsjahr abgeschlossene Projekte

(* IEA-Klassifikation)

- OPTIMIERUNG DER HYDROLYSE UND SALZABTRENNUNG BEI DER HYDROTHERMALEN VERGASUNG VON BIOMASSEN**

Lead: PSI Paul Scherrer Institut

Contact: Vogel Frederic frederic.vogel@psi.ch

Abstract: Die hydrothermalen Vergasung (300 bar, 300-500°C) ermöglicht die Umsetzung von nasser Biomasse zu synthetischem Erdgas (SNG) ohne vorhergehende Trocknung. Um die Vergasung nasser Biomasse in einem kontinuierlichen Prozess durchzuführen, ist es notwendig anorganische Salze auszuschleusen und die Koksbildung zu unterdrücken, um eine Verstopfung der Anlage zu verhindern.

R&D 3.4*

Funding: BFE

Period: 2008–2012
- MESSVERFAHREN ZUR BESTIMMUNG DER PARTIKELEMISSIONEN VON FESTBRENNSTOFFFEUERUNGEN**

Lead: Ökozentrum Langenbruck

Contact: Gaegauf Christian christian.gaegauf@oekozentrum.ch

Abstract: Ziel des Projektes ist die Entwicklung und Validierung eines neuen Messverfahrens für Partikelemissionen in den Abgasen von Feuerstätten und Kesseln für feste Brennstoffe. Das Verfahren will Basis für ein zukünftiges einheitliches Messprozedere sein, das in eine europäische Norm einfließen soll. Die Arbeiten werden von insgesamt 19 Partnern aus 10 europäischen Ländern durchgeführt.

R&D 3.4

Funding: BFE, BAFU

Period: 2011–2012
- ENTWICKLUNG DER INGENIEURWISSENSCHAFTLICHEN GRUNDLAGEN DER SCHWEFELRESISTENTEN METHANISIERUNG**

Lead: PSI Paul Scherrer Institut

Contact: Biollaz Serge serge.biollaz@psi.ch

Abstract: Es soll eine schwefelresistente Methanisierungsstufe für den Prozess Methan aus Holz entwickelt werden. Gegenüber der Niedertemperaturentschwefelung mittels Gaswäsche, die bei der 1 MW SNG-Anlage am Standort Güssing zum Einsatz kommt, hat die Hochtemperatur-Entschwefelung Vorteile hinsichtlich des Gesamtwirkungsgrades und der Anlagenverfügbarkeit.

R&D 3.4

Funding: BFE

Period: 2010–2012
- GERUCHSQUELLEN BEI BIOGASANLAGEN**

Lead: Forschungsanstalt Agroscope ART

Contact: Schick Matthias matthias.schick@art.admin.ch

Abstract: Landwirtschaftliche Biogasanlagen werden häufig an bestehenden Standorten mit Tierhaltung ergänzt und für eine effektive Wärmenutzung bevorzugt in der Nähe zur Wohnbebauung errichtet. Dies führt zu Geruchsklagen der Anwohner. Ziel des Projektes ist es, relevante Geruchsquellen zu identifizieren und zu quantifizieren sowie Minderungsmaßnahmen aufzuzeigen.

R&D 3.4

Funding: BFE

Period: 2009–2012
- HARMONISIERUNG UND ERWEITERUNG DER BIOENERGIE-ÖKOINVENTARE UND -ÖKOBILANZEN**

Lead: Empa

Contact: Zah Rainer rainer.zah@empa.ch

Abstract: Projektziel ist es, die Bioenergie-Daten der ecoinvent Datenbank in Hinblick auf die aktuellen Entwicklungen im landwirtschaftlichen Anbau (z. B. Jatropha oder schnellwachsende Gräser) und Energie-Umwandlung (z. B. hydrothermale Vergasung) zu aktualisieren, harmonisieren und zu erweitern.

R&D 3.4

Funding: BAFU, BFE, u. a.

Period: 2009–2012
- IEA BIOENERGY TASK 32**

Lead: Verenum

Contact: Nussbaumer Thomas thomas.nussbaumer@verenum.ch

Abstract: Die IEA Bioenergy Task 32 befasst sich mit der Biomasseverbrennung zur Energieerzeugung und setzt sich zur Überwindung technischer und nicht-technischer Hindernisse ein. Dazu erfolgt ein Erfahrungsaustausch unter den Mitgliedsstaaten sowie die Zusammenarbeit zu Schwerpunktsthemen. Die schweizerische Vertretung hat zum Ziel, die Anliegen der Schweiz in der IEA zu vertreten und in der Schweiz den internationalen Stand der Technik zu vermitteln

WTT 3.4

Funding: BFE

Period: 2011–2012
- IEA BIOENERGY TASK 33**

Lead: ETECA

Contact: Rüeggsegger Martin eteca@gmx.ch

Abstract: Die IEA Bioenergy fördert mit Task 33 die energetische Nutzung von Biomasse über die thermische Vergasung (Thermal Gasification of Biomass). Task 33 begleitet die Forschung, deren Umsetzung in Pilot- und Demonstrationsanlagen sowie die Markteinführung und den kommerziellen Anlagenbetrieb der thermischen Vergasung von Biomasse.

WTT 3.4

Funding: BFE

Period: 2011–2012

● **IEA BIOENERGY TASK 37**

WTT 3.4

Lead:	EREP SA	Funding:	BFE
Contact:	Membrez Yves yves.membrez@erep.ch	Period:	2011–2012
Abstract:	Als Arbeitsgruppe der IEA Bioenergy befasst sich der Task 37 mit der Produktion von Biogas und dessen energetischen Anwendung, wobei die gesamte Produktionskette betrachtet wird. Ziel ist der Informationsaustausch und die Weiterverbreitung neuester Erkenntnisse zur Gärtechnik, Beurteilung von Substraten, Nutzung des produzierten Biogas sowie der Einsatz des Gärguts als organischen Dünger.		

● **PRAXISEINSATZ ELEKTROABSCHIEDER – TEIL 1**

R&D 3.4

Lead:	Ing. Büro Verenum, Zurich	Funding:	BFE
Contact:	Nussbaumer Thomas thomas.nussbaumer@verenum.ch	Period:	2011–2014
Abstract:	In der Schweiz werden autom. Holzfeuerungen ab 500 kW meist mit Elektroabscheidern ausgerüstet, um die verschärften Emissionsgrenzwerte einzuhalten. Allerdings werden Heizanlagen oft bei Teillast oder im Ein-/Aus-Betrieb betrieben, weshalb die Feinstaubabscheider während eines Grossteils der Betriebszeit der Feuerung unwirksam sind. Im Projekt wird der Einsatz von Elektroabscheidern im Praxisbetrieb untersucht.		

● **MASSNAHMEN ZUR OPTIMIERUNG DER VERGÄRUNG DURCH VORBEHANDLUNG, PROZESS UND VERFAHRENSTECHNIK UND HILFSSTOFFE**

R&D 3.4

Lead:	Hochschule Wädenswil HSW	Funding:	BFE
Contact:	Baier Urs urs.baier@zhaw.ch	Period:	2009–2012
Abstract:	Im Projekt werden verschiedene Optimierungsbereiche des Biogasverfahrens im Hinblick auf inländische Substrate mit hohem Massenpotential im Labor- und im Pilotmassstab untersucht. Das Schwergewicht liegt dabei auf Hofdünger, zellstoffreicher Biomasse und langsam abbaubaren Proteinsubstraten. Es werden Konzepte der chemisch – physikalischen, enzymatischen und biologischen Vorbehandlung zur Steigerung der Biogasausbeute untersucht.		

● **MESSUNG VON GERUCHSEMISSIONEN UND ENTWICKLUNG EINES GERUCHSEMISSIONSMODELLS FÜR BIOGASANLAGEN**

R&D 3.4

Lead:	Ernst Basler + Partner AG	Funding:	BFE, BAFU, u. a.
Contact:	Frantz Holger holger.frantz@ebp.ch	Period:	2009–2012
Abstract:	Ziel des Projektes ist die Erstellung eines Geruchsemissionsmodells für Biogasanlagen in der Schweiz. Das Geruchsemissionsmodell soll Planern, Investoren und Bewilligungsbehörden eine Planungshilfe schaffen, mit der Geruchsemissionen von Biogasanlagen noch in der Planungs- und Bewilligungsphase abgeschätzt, sowie sinnvolle geruchsmindernde Massnahmen geplant werden können.		

● **METHANVERLUSTE BEI BIOGASANLAGEN**

R&D 3.4

Lead:	Forschungsanstalt Agroscope ART	Funding:	BFE
Contact:	Schick Matthias matthias.schick@art.admin.ch	Period:	2009–2012
Abstract:	In diesem Projekt sollen die relevante Methanverlustquellen (Flächenquellen, Leckagen, Methanschluß) bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen identifiziert und das Verlustpotenzial näherungsweise bestimmt werden. Dabei sollen auch bauliche, verfahrenstechnische, organisatorische und klimatische Parameter sowie der Gasertrag als Einflussgrößen auf die Methanverluste erhoben werden. Im Abschluss sollen davon Minderungsmaßnahmen abgeleitet werden.		

● **ÖKOBILANZ ZU BIOMASSENUTZUNG**

R&D 3.4

Lead:	Carbotech AG Umweltanalytik	Funding:	BFE
Contact:	Dinkel Fredy f.dinkel@carbotech.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	Mit der vermehrten Nutzung von Biomasse, stellt sich auch die Frage nach der optimalen Verwertung. Im Projekt werde die folgenden Hilfsmittel zur Evaluation der Umweltauswirkungen erarbeitet bzw. bestehende aktualisiert: (1) Ökoinventare von verschiedenen Anlagen, Grüngutarten, energetischer und stofflicher Nutzung; (2) Erarbeitung eines Tools zur Evaluation der optimalen Grüngutverwertung bei verschiedenen Rahmenbedingungen.		

● **DÉTERMINATION DE LA PRODUCTION DE MÉTHANE D'INSTALLATIONS DE DIGESTION EN VRAIE GRANDEUR À PARTIR DE TESTS BMP EN LABORATOIRE**

R&D 3.4

Lead:	EPFL	Funding:	BFE, ARA Bern, SATOM
Contact:	Holliger Christof christof.holliger@epfl.ch	Period:	2012–2014
Abstract:	Ce projet propose d'établir les facteurs d'extrapolation permettant d'utiliser directement les résultats des tests BMP (biomethane potential) en laboratoire standardisés pour la détermination de la production énergétique d'une installation à échelle réelle.		

- **VERGÄRUNG VON GÜLLE UND CO-SUBSTRATEN IN EINEM MEMBRAN-BIO-REAKTOR (MBR II)** R&D 3.4
- | | | | |
|----------|---|----------|---------------------|
| Lead: | ARGE MBR II c/o Ingenieurbüro | Funding: | BFE, BLW, Axpo, SER |
| Contact: | Hersener Jean-Louis postmaster@agrenum.ch | Period: | 2007–2012 |
- Abstract: Die Grenzen und Möglichkeiten des Membran-Bio-Reaktors (MBR) sollen in diesem Projekt vertieft untersucht werden. Das Prinzip des MBR besteht darin, dass der Biogasfermenter mit einer nachgeschalteten Ultrafiltration betrieben wird. Das MBR-Verfahren verspricht eine gesteigerte Effizienz. Zudem lassen sich die eingesetzten Biomassesortimente durch die verfahrensbedingte Trennung und Aufbereitung viel bereitgefächerter als Dünger einsetzen.
- **TORPLANT – PHASE 1** R&D 3.4
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | HEIG-VD | Funding: | BFE |
| Contact: | Michel Jean-Bernard jean-bernard.michel@heig-vd.ch | Period: | 2011–2012 |
- Abstract: Le projet consiste en la construction, les essais et l'optimisation d'une unité pilote de torréfaction de biomasse d'une capacité de 620 kg/h avec production combinée d'énergie mécanique et étude de la valorisation des gaz de torréfaction. Les objectifs sont: la torréfaction de divers sources de biomasse, la production de pellets à partir de la biomasse torréfiée et la démonstration de leur conformité aux normes environnementales.
- **PRODUCTION OF ULTRA-PURE HYDROGEN FROM WOODY BIOMASS USING A MODIFIED CHEMICAL LOOPING PROCESS** R&D 3.4
- | | | | |
|----------|-----------------------------------|----------|-----------|
| Lead: | ETHZ | Funding: | BFE |
| Contact: | Müller Christoph muelchri@ethz.ch | Period: | 2011–2014 |
- Abstract: The proposal is concerned with a novel method for the production of hydrogen from woody biomass which is of sufficient purity to be used directly in PEM fuel cells without substantial gas clean-up, using a modified chemical looping combustion process.
- **ENERGIEAUTARKE KLÄRANLAGE** R&D 3.4
- | | | | |
|----------|--|----------|------------|
| Lead: | Abwasserverband Vorderes Prättigau | Funding: | BFE, Kt GR |
| Contact: | Gabathuler Hans hans.gabathuler@bluewin.ch | Period: | 2011–2012 |
- Abstract: Im Rahmen des Projekts soll das Konzept einer energieautarken Kläranlage am Beispiel der ARA Vorderes Prättigau untersucht werden. Die Energieautarkie kann erreicht werden, wenn ein Grossteil der organischen Fracht am Belebtschlamm adsorbiert wird und nicht veratmet werden muss. Dafür ist die Hochlaststufe von zweistufigen Belebtschlammverfahren signifikant höher zu belasten, als üblicherweise praktiziert.
- **NACHBEREITUNG VON GÄRGUT** R&D 3.4
- | | | | |
|----------|-----------------------------------|----------|-----------|
| Lead: | Engeli engineering | Funding: | BFE, BAFU |
| Contact: | Engeli Hans engeli@compuserve.com | Period: | 2011–2013 |
- Abstract: Ziel des Projektes ist zu untersuchen, ob die Gärgutaufbereitung Sinn macht. Dazu werden Daten über den Energiebedarf, Emissionen, Nährstoffgehalte und hygienische Aspekte gesichtet und zur Schliessung von identifizierten Datenlücken Messungen und Laboranalysen durchgeführt. Anschliessend werden die erforderlichen Energie- und Stoffbilanzen durchgeführt und mit den Kennzahlen von Verfahrenskonzepten ohne Gärgutaufbereitung verglichen.
- **KOMBINIERTE ABGASKONDENSATION/ABGASREINIGUNG FÜR HOLZHEIZANLAGEN** P&D 3.4
- | | | | |
|----------|--------------------------------|----------|-----------|
| Lead: | GUNEP | Funding: | BFE |
| Contact: | Koller Eugen e.koller@gunep.ch | Period: | 2011–2013 |
- Abstract: Ziel des Projektes ist die Abgaskondensation zur Marktreife zu entwickeln, welche die Emissionswerte von 20mg/Nm3 bzw. 50mg/Nm3 Abgas unterschreiten und zugleich eine Wärmerückgewinnung bis über 20 % erreichen. Um diese Ziel zu erreichen soll ein Kompaktgerät als Gaswäscher mit integriertem bzw. nachgeschaltetem Filtermodul entwickelt werden.
- **HOLZBEFEUERTES BLOCKHEIZKRAFTWERK MIT HEISSLUFTTURBINE IM KLEINEREN LEISTUNGSBEREICH 80-100 KWEL** P&D 3.4
- | | | | |
|----------|-------------------------------------|----------|-----------|
| Lead: | Schmid AG | Funding: | BFE |
| Contact: | Schmid Hans-Jürg HJ@holzfeuerung.ch | Period: | 2010–2012 |
- Abstract: Ziel ist die Entwicklung eines Blockheizkraftwerks mit Holzenergie, welches rationell im unteren Leistungsbereich der Stromerzeugung (70-100 kWel) eingesetzt werden kann.

● ÖKOBILANZ DER BIOGASPRODUKTION AUS UNTERSCHIEDLICHEN SUBSTRATEN

R&D 3.4

Lead:	ESU-services	Funding:	BFE
Contact:	Jungbluth Niels jungbluth@esu-services.ch	Period:	2009–2012
Abstract:	In den letzten Jahren gab es eine Reihe von Ökobilanzen zur Verwendung von Grüngut in Biogasanlagen. Bisher gibt es unterschiedliche Ergebnisse bzgl. der Vor- und Nachteile der Vergärung von Grüngut. Ziel dieses Projektes ist ein Vergleich der Verwendung verschiedener gekaufter bzw. angebauter Substrate für die Biogasproduktion.		

● LA DIGESTION ANAÉROBIE DES BOUES D'ÉPURATION: SITUATION ET POTENTIEL D'OPTIMISATION

R&D 3.4

Lead:	EREP SA	Funding:	BFE
Contact:	Membrez Yves yves.membrez@erep.ch	Period:	2012
Abstract:	Le projet vise à contribuer à l'optimisation de la production de biogaz dans les STEP ; incluant le niveau technologique et conceptuel. Il couvre la digestion anaérobie, du prétraitement des boues jusqu'à la valorisation du biogaz et des boues digérées. Le rapport donnera une vue d'ensemble des technologies à disposition, ainsi que leurs avantages et inconvénients.		

● MINI-BIOGAS

R&D 3.4

Lead:	EREP SA	Funding:	BFE, Biomasse Schweiz
Contact:	Membrez Yves yves.membrez@erep.ch	Period:	2012–2013
Abstract:	Les buts du projet sont de définir le marché pour de petites installations de biogaz en Suisse, d'identifier l'offre actuelle des constructeurs européens pour de telles unités, d'analyser l'adéquation de ces systèmes au marché helvétique et d'adapter si nécessaire, en partenariat avec des constructeurs intéressés, les solutions technologiques au contexte Suisse.		

● BLUEBONSAI BB5+

R&D 3.4

Lead:	Apex AG	Funding:	BFE, FOGA u. a.
Contact:	Oester Ueli uoester@apex.eu.com	Period:	2012–2014
Abstract:	Mit dem Projekt „Blue BONSAI BB5+“ soll die Biogasaufbereitung zu Erdgasqualität für kleine, dezentrale Biogas-Anlagen ermöglicht und die Wirtschaftlichkeit aufgezeigt werden. Eine Pilotanlage mit Kleintankstelle ist bei einem landwirtschaftlichen Biogasbauern ohne Erdgas-Netzanschluss geplant.		

● GÄRGUT – HYGIENE

R&D 3.4

Lead:	FiBL	Funding:	BLW, BVet, BAFU, BFE
Contact:	Fuchs Jacques jacques.fuchs@fibl.org	Period:	2012–2014
Abstract:	En Suisse, très peu de données existent sur l'état hygiénique des digestats produits et sur les risques éventuels qui pourraient découler d'une utilisation inappropriée de ces engrais. De manière générale, il n'existe, ni au niveau Suisse ni au niveau européen, aucune données quantitative sur la charge en germes pathogènes des divers intrants (à l'exception des lisiers).		

● SCHADSTOFFARME HOLZFEUERUNGEN (500 KW–50 MW)

R&D 3.4

Lead:	Hochschule Luzern HSLU	Funding:	SNF, Schmid AG, BFE
Contact:	Nussbaumer Thomas thomas.nussbaumer@hslu.ch	Period:	2012–2015
Abstract:	Im vorliegenden Projekt werden die Massnahmen zur Optimierung der Rostauslegung und des Rostbetriebs untersucht und in drei Arbeitsschritten die Basis für weitere Verbesserungen des Ausbrands bei gleichzeitig tieferen Stickoxidemissionen erarbeitet.		

● NOVEL SYSTEM FOR THE DIRECT FERMENTATION OF PRETREATED LIGNOCELLULOSIC MATERIAL TO ETHANOL IN A SINGLE REACTOR

R&D 3.4

Lead:	Berner Fachhochschule, HAFL	Funding:	SNF (Ambizione)
Contact:	Studer Michael Hans-Peter michael.studer1@bfh.ch	Period:	2009–2012
Abstract:	Es soll ein vereinfachter, integrierter Prozess, welcher die direkte Herstellung von Ethanol aus lignozellulosehaltiger Biomasse ermöglicht, entwickelt werden. In dem vorgeschlagenen Verfahren werden die Herstellung der notwendigen Zellulose-spaltenden Enzyme, die Verzuckerung der Biomasse sowie die Fermentation der Zucker und gegebenenfalls die Vorabtrennung des Ethanols in einem einzigen kontinuierlichen Bioreaktor zusammengefasst.		

INSTITUTIONAL ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL INNOVATION SYSTEMS

R&D 3.4

Lead: EAWAG

Funding: SNF (Projektförderung)

Contact: Markard Jochen jochen.markard@eawag.ch

Period: 2010–2013

Abstract: Die Rolle von Institutionen für die Entwicklung von Biogastechnologien in drei europäischen Ländern wird untersucht. Ziel ist, Antworten auf die Fragen zu finden wie, welche verschiedenen Institutionen aus dem Umfeld den technologischen Entwicklungspfad beeinflussen und welche Rolle der gegenseitige Einfluss dieser verschiedenen Institutionen spielt.

NANOAIR – ONLINE COUPLING OF A SCANNING MOBILITY PARTICLE SIZER (SMPS) TO AN INDUCTIVELY COUPLED PLASMA MASS SPECTROMETER (ICP-MS)

R&D 3.4

Lead: Empa

Funding: SNF (R'EQUIP)

Contact: Ulrich Andrea andrea.ulrich@empa.ch

Period: 2012–2013

Abstract: It is planned to setup a new hyphenated technique for online, size fractionated, element selective and quantitative determination of nanoparticles in aerosols. The technique will enable investigations of particle size distributions in the range from about 2 nm to 10 µm and a chemical characterization for most of the elements in the periodic table with excellent detection limits.

INVESTIGATION OF SECONDARY ORGANIC AEROSOL FORMATION IN THE PSI SMOG CHAMBER AND AT CERN

R&D 3.4

Lead: PSI Paul Scherrer Institut

Funding: SNF (Projektförderung)

Contact: Baltensperger Urs urs.baltensperber@psi.ch

Period: 2011–2014

Abstract: Carbonaceous particles comprise a large fraction of the atmospheric aerosol, however, their concentrations and composition as well as formation and transformation mechanisms are still very little understood. The formation and transformation mechanisms of SOA, both from anthropogenic and biogenic sources, will be investigated, both in the PSI smog chamber and at the new CLOUD chamber at CERN.

PREDICTING THE COMPLEX COUPLING OF CHEMISTRY AND HYDRODYNAMICS IN FLUIDISED BED METHANATION REACTORS FOR SNG-PRODUCTION FROM WOOD

R&D 3.4

Lead: PSI Paul Scherrer Institut

Funding: SNF (NFP)

Contact: Schildhauer Tilman tilman.schildhauer@psi.ch

Period: 2012–2015

Abstract: Synthetisches Erdgas aus Holz – Wie kann man die Synthese optimieren? In diesem Projekt untersuchen die Forschenden, wie sich die chemischen Reaktionen, der Stoffübergang und die Fluidodynamik in Wirbelschichtreaktoren gegenseitig beeinflussen. Sie prüfen in Experimenten, ob die Reaktorsimulation die realen Abläufe ausreichend genau widerspiegelt. Dies ist wichtig, um mit Hilfe der Simulationen die Prozesse für die Bioerdgaserzeugung zu optimieren

CATALYSIS UNDER EXTREME CONDITIONS: IN SITU STUDIES OF THE REFORMING OF ORGANIC KEY COMPOUNDS IN SUPERCRITICAL WATER

R&D 3.4

Lead: PSI Paul Scherrer Institut

Funding: SNF (Projektförderung)

Contact: Wambach Jörg joerg.wambach@psi.ch

Period: 2010–2013

Abstract: Hydrothermal gasification is an emerging technology offering an efficient conversion of wet biomass into methane or hydrogen. In this project, investigations under in situ conditions possible modifications of the catalyst during the hydrothermal gasification of key model compounds, i.e. ethanol, glycerol, acetic acid, and formic acid will be performed.

STUDYING SALT SOLUTIONS NEAR THE CRITICAL POINT OF WATER USING HIGH PRESSURE CALORIMETRY AND IN-SITU X-RAY ABSORPTION SPECTROSCOPY

R&D 3.4

Lead: PSI Paul Scherrer Institut

Funding: SNF (Projektförderung)

Contact: Vogel Frederic frederic.vogel@psi.ch

Period: 2011–2014

Abstract: Our motivation is to understand salt formation, precipitation, and recovery in hydrothermal systems relevant for, but not restricted to, technical processes such as hydrothermal gasification of biomass or Supercritical Water Oxidation. In particular, we would like to be able to understand and improve the separation of salts in our hydrothermal gasification process, based on fundamental knowledge of salt formation and precipitation.

THE CLIMATE-FRIENDLY FARM (CLIFF) – TEACHING YOUNG FARMERS VIA A COMPUTER GAME HOW TO REDUCE GREENHOUSE GAS EMISSIONS

WTT 3.4

Lead: Forschungsanstalt Agroscope ART

Funding: SNF (Agora)

Contact: Fuhrer Jürg juerg.fuhrer@art.admin.ch

Period: 2012–2013

Abstract: Ziel ist es, die Landwirtschaftslehrlinge dafür zu sensibilisieren, wie sie den Ausstoss von Treibhausgasen auf ihrem Hof durch geschicktes Management reduzieren und damit den Betrieb klimafreundlich gestalten können. Wir entwickeln zu diesem Zweck ein unterhaltsames Computerspiel, das die Simulation von wichtigen Stoffflüssen (Stickstoff, Kohlenstoff) auf einem Landwirtschaftsbetrieb in vereinfachter Form erlaubt.

- **COMPLETE CHEMICAL CONVERSION OF BIOMASS THROUGH CARBOHYDRATE DEHYDRATION AND LIGNIN LIQUEFACTION** R&D 3.4
- Lead: University of Wisconsin-Madison Funding: SNF
- Contact: Luterbacher Jeremy jeremy.luterbacher@gmail.com Period: 2012–2013
- Abstract: This project aims to develop a complete biomass-to-hydrocarbon conversion platform using subsequent fractionation steps involving simultaneous depolymerization and dehydration reactions followed by lignin liquefaction and catalytic upgrading. These reactions would eliminate the need for expensive and slow working enzymes. Further optimization of these stages could reduce homogeneous acid catalyst use and improve product yields.
- **DISTRIBUTED PRODUCTION OF ULTRA-PURE HYDROGEN FROM WOODY BIOMASS** R&D 3.4
- Lead: ETHZ Funding: SNF (NFP)
- Contact: Müller Christoph muelchri@ethz.ch Period: 2012–2015
- Abstract: Herstellung von hochreinem Wasserstoff aus Holz. Im Mittelpunkt dieses Projekts steht ein neuartiger Prozess für die Produktion von hochreinem Wasserstoff aus Holz. Der Prozess basiert auf den Redoxreaktionen von Eisenoxid und könnte dazu beitragen, die Abhängigkeit des Schweizer Verkehrs- und Elektrizitätssektors von kohlenstoffbasierten Energieträgern zu verringern.
- **EFFECTS OF BIOCHAR AMENDMENT ON PLANT GROWTH, MICROBIAL COMMUNITIES AND BIOCHAR DECOMPOSITION IN AGRICULTURAL SOILS** R&D 3.4
- Lead: FiBL Funding: SNF (Projekte)
- Contact: Gattinger Andreas andreas.gattinger@fibl.org Period: 2011–2014
- Abstract: The aim of the proposed project is to investigate the influence of two biochar types on soil-plant systems by determining i) soil nutrient availability, plant growth and nutrient uptake, ii) structure and function of soil microbial communities, iv) the decomposition and fate of biochar in soils. The biochars will be produced by pyrolysis and hydrothermal carbonization (HTC) from the C4-plant *Miscanthus gigantea*.
- **PRODUCTION AND PROCESSING OF ATMOSPHERIC AEROSOLS FROM BIOGENIC AND BIOMASS BURNING SOURCES** R&D 3.4
- Lead: PSI Paul Scherrer Institut Funding: SNF (Ambizione)
- Contact: Slowik Jay jay.slowik@psi.ch Period: 2011–2013
- Abstract: This project provides a detailed characterization of the chemical and physical properties of biogenic and biomass burning aerosol, and the rate and extent to which these properties change as a result of reaction with the OH radical, a major atmospheric oxidant.
- **THE FATE OF 14C-RADIOLABELLED DICLOFENAC AND ITS MAIN HUMAN METABOLITE 4'-HYDROXYDICLOFENAC IN MEMBRANE BIOREACTOR TREATMENT OF WASTEWATER** R&D 3.4
- Lead: FHNW Funding: SNF (Projektförderung)
- Contact: Wintgens Thomas thomas.wintgens@fhnw.ch Period: 2011–2013
- Abstract: This project aims at elucidating the fate of diclofenac, a widely consumed non-steroidal anti-inflammatory compound, during wastewater treatment. The research will identify metabolic pathways as well as degradation products and the impact of operational parameters and common treatment steps thereon.
- **WOOD2CHEM: A COMPUTER AIDED PLATFORM TO SUPPORT THE OPTIMAL IMPLEMENTATION OF WOOD-BASED BIO REFINERY CONCEPTS** R&D 3.4
- Lead: EPFL Funding: SNF (NFP)
- Contact: Marechal Francois francois.marechal@epfl.ch Period: 2012–2015
- Abstract: Wood2Chem: Eine Informatikplattform für die Entwicklung der Bioraffinerie. Durch die Einbindung der Herstellung hochwertiger Produkte aus Biomasse eröffnet die Bioraffinerie der Holzindustrie zahlreiche Entwicklungsmöglichkeiten. Die im Rahmen dieses Projektes entwickelte Informatikplattform Wood2Chem ermöglicht die Konzeption innovativer Verfahren für die Verwertung des Rohstoffs Holz in einem ganzheitlichen und integrierten Ansatz.
- **UNDERSTANDING AND MANIPULATING FREE RADICALS IN LIGNIN FOR A CONTROLLED DEPOLYMERIZATION TO CHEMICALS** R&D 3.4
- Lead: PSI Paul Scherrer Institut Funding: SNF (NFP)
- Contact: Vogel Frederic frederic.vogel@psi.ch Period: 2012–2015
- Abstract: Freie Radikale im Lignin als Schlüssel zur Herstellung "grüner" Chemikalien. Freie Radikale im Lignin stellen vermutlich den Schlüssel zu seiner chemischen Zerlegung in wertvolle Chemikalien dar. Gelingt es, die Art und Anzahl dieser Radikale zu beeinflussen, könnte dies zu neuen Verfahren für die Herstellung von "grünen" Chemikalien führen.

● **THERMOCHEMICAL PRE-TREATMENT TECHNOLOGY FOR RESIDUES FROM BREWERIES AND OTHER BIOMASS TO ENHANCE ANAEROBIC DIGESTION**

R&D 3.4

Lead: WADI-BRAU-HUUS AG

Funding: FP7 Infrastructures

Contact: Brzoska Julius

brauhuus@waedenswiler.ch

Period: 2012–2014

Abstract: The aim of the project is the development of a thermochemical pre-treatment technology to increase the gas yield of brewers spent grains during an anaerobic digestion process.

● **LIGNOCELLULOSIC ETHANOL DEMONSTRATION**

P&D 3.4

Lead: Granit Recherche Developpement SA

Funding: FP7 Energy

Contact: Abaecherli Alfred

alfred.abaecherli@granit.net

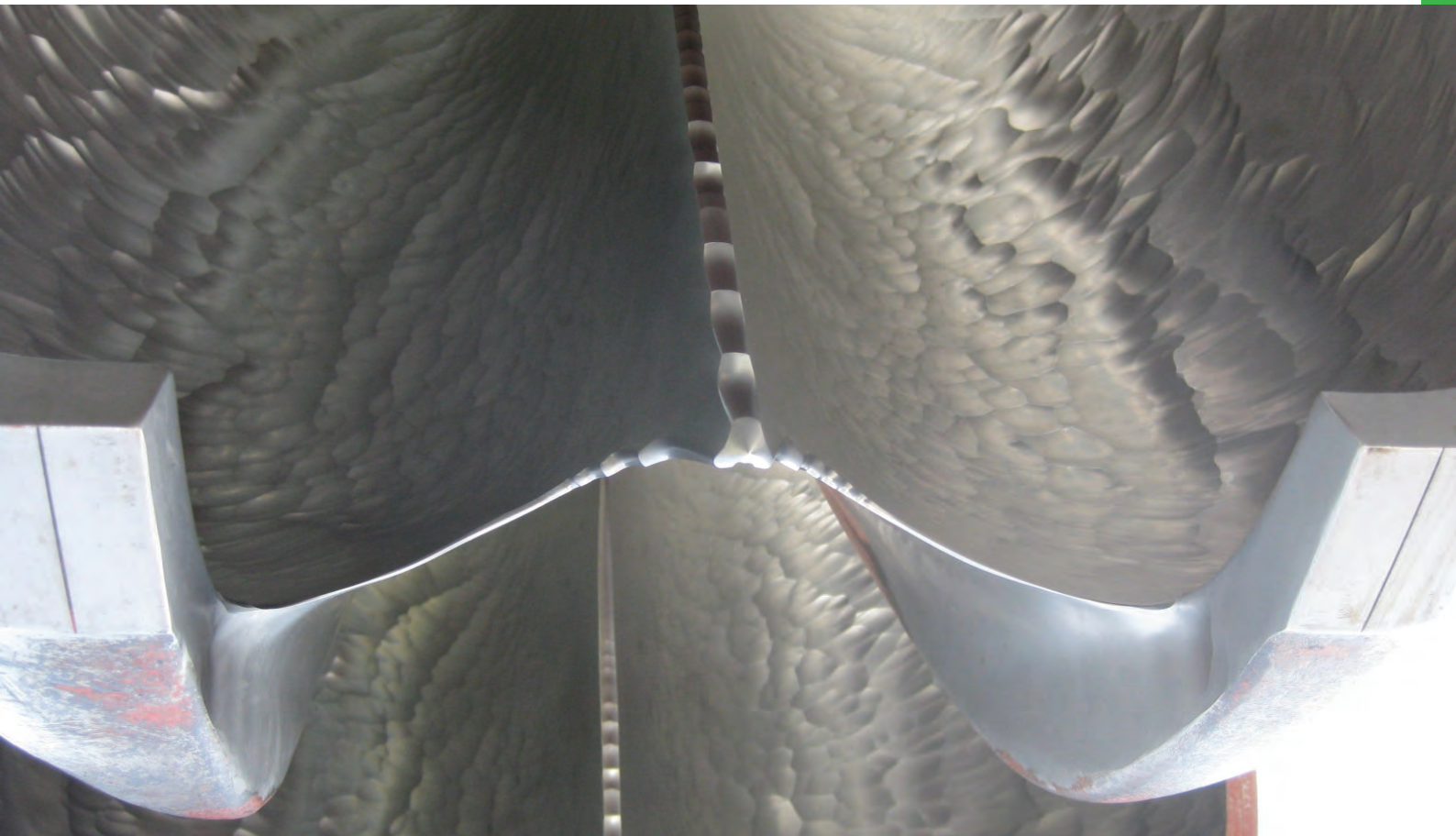
Period: 2009–2013

Abstract: The global object of the Lignocellulosic Ethanol Demonstration (LED) project is to design, construct and operate the first biofuel commercial facility in Europe using second generation technology, consisting on a lignocellulosic biomass to ethanol plant. The total lignocellulosic biomass input to the process is 522 dry tonne/day, resulting in an ethanol production of 50 MML/yr. In addition it will produce lignin and distiller biomass.



Klaus Jorde

Wasserkraft



Peltonlaufrad mit Abrasionsschäden

Ein Peltonlaufrad mit Abrasionserscheinungen am Kamm zwischen den beiden Becherhälften sowie in den Bechern selbst. Solche Abrasionen entstehen in Hochdruckwasserkraftanlagen durch Sandschliff durch im Triebwasser enthaltene Schwebstoffe. Die Turbinen verlieren dadurch an Wirkungsgrad und die Leistung fällt ab, die Laufräder müssen überarbeitet oder erneuert werden. Dadurch entstehen Kosten und der Betrieb ist während der Arbeiten eingeschränkt. Der Rückgang alpiner Gletscher und die Verlandung der Speicherseen führen tendenziell zu einem Anstieg der Schwebstoffkonzentration im Triebwasser und damit zur Zunahme solcher Schäden. In einem laufenden Forschungsprojekt wird untersucht, wie der Abrasionsprozess im Detail verläuft und welche Gegenmassnahmen, z. B. verschleissresistente Beschichtungen, Erfolgsaussichten versprechen (Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie VAW, 2010).

Einleitung

Wasserkraft deckt etwa 16 % der weltweiten Stromnachfrage und ist in der Schweiz die bedeutendste Quelle für die Generierung von elektrischem Strom. Ungefähr 56 % des benötigten Stroms werden hier mithilfe von Wasserkraft erzeugt. Über die Hälfte davon stammt aus Speicherkraftwerken. Dieser Strom kann auf Abruf bereitgestellt werden, was ihn besonders wertvoll macht. Der andere Teil stammt aus Laufwasserkraftwerken, die das Wasser der Flüsse so nutzen, wie es der Wasserführung entspricht; dort gibt es keine Speichermöglichkeiten. Die meisten attraktiven Standorte in der Schweiz sind seit langem genutzt und man schätzt, dass 80–85 % des vorhandenen nutzbaren Potenzials heute bereits ausgenutzt werden. Der Ausstieg aus der Kernenergie und das Auslaufen von Stromlieferverträgen mit dem Ausland führen in der Schweiz zu einer massiven Versorgungslücke, die geschlossen werden muss. Die Energiepolitik der Schweiz setzt dabei unter anderem auf einen weiteren Zuwachs der Produktion aus Schweizer Wasserkraft und insbesondere auch auf einen Zuwachs der Produktion aus Pumpspeicherkraftwerken. Aus diesen Gründen finden, zusätzlich zu den periodisch notwendigen Modernisierungs- und Erneuerungsmassnahmen, massive Investitionen in die Wasserkraft statt. Insbesondere bei den Speicher- und Pumpspeicherkraftwerken sind eine Reihe von wesentlichen Erweiterungen und Neubauten im Gang, die für die Bedarfsdeckung der Schweiz aber auch infolge ihrer Rolle im europäischen Verbundnetz versorgungstechnisch notwendig geworden sind. Die wirtschaftlichen Bedingungen sind aber für solche sehr langfristigen Investitionen unklar

und die Unsicherheiten bezüglich der Entwicklung der Strommarktpreise müssen in die wirtschaftlichen Betrachtungen und die technische Auslegung mit einbezogen werden. Auch die Veränderungen des Klimas und das Abschmelzen der Gletscher werden sich auf die Stromproduktion aus Wasserkraft auswirken, die Werke und die Speicher müssen z.T. baulich und betrieblich an die sich verändernden Gegebenheiten angepasst werden.

Auch weltweit betrachtet spielt die Wasserkraft eine wichtige Rolle. Nie wurde so viel neue Stromerzeugung aus Wasserkraftwerken in Betrieb genommen, wie zurzeit. Die grössten Zuwächse finden in den Schwellenländern Asiens, Afrikas und Lateinamerikas statt, wo noch enorme nicht genutzte Ressourcen vorhanden sind. Manche der grossen Projekte sind aufgrund ihrer komplexen sozioökonomischen, gewässerökologischen und geopolitischen Auswirkungen äusserst umstritten.

Das Forschungsprogramm *Wasserkraft* unterstützt und fördert die vollständige Nutzung des vorhandenen Wasserkraftpotenzials in der Schweiz einschliesslich der Entwicklung der Pumpspeicherkapazitäten. Dieser Zielsetzung wird eine ganzheitliche Betrachtungsweise zu Grunde gelegt, die neben technischen und ökonomischen Aspekten auch ökologische und landschaftsbezogene Schutzaspekte mit einbezieht. Mit «vollständiger Nutzung» ist daher nicht die Ausnutzung des gesamten technischen Potenzials gemeint, sondern der Anteil, für dessen Nutzung ein gesellschaftlicher und politischer Konsens vorhanden ist. Das Forschungsprogramm trägt un-

ter anderem auch dazu bei, Wissen und Informationen zu schaffen und bereitzustellen, die diese Konsensfindung unterstützen.

Im Bereich der grossen Lauf- und Speicherkraftwerke wird die Forschung hauptsächlich von den grossen Forschungseinrichtungen der Eidgenössischen Technischen Hochschulen, den Universitäten und den Fachhochschulen – jeweils in enger Zusammenarbeit mit der Industrie – betrieben. Die Fragestellungen beziehen sich dabei zunächst häufig auf Erneuerungs- oder Erweiterungsmassnahmen an einer bestimmten Wasserkraftanlage oder bestimmten Typen von Wasserkraftanlagen. Dort treten Fragestellungen auf, für die es bis heute keine genau untersuchten und allgemein gültigen Lösungsansätze gibt. Während die Wasserkraftindustrie in erster Linie an einer Lösung für das fallspezifische Problem, d. h. für eine einzelne Anlage, interessiert ist, unterstützt das Forschungsprogramm erweiterte Lösungsansätze, die allgemeingültig und somit auch auf andere Anlagen anwendbar sind.

Die Kleinwasserkraft befindet sich im immerwährenden Spannungsfeld zwischen dem Wunsch nach mehr erneuerbarer Energie und dem gleichzeitig wachsenden Wunsch nach einer intakten Umwelt und Natur. Die kostendeckende Einspeisevergütung mit ihren sehr attraktiven Vergütungssätzen für kleine Wasserkraftanlagen resultiert in vielen Wasserrechtsanträgen, wodurch die kantonalen Behörden zum Teil überfordert sind. Gleichzeitig wächst der Widerstand gegen noch mehr kleine Wasserkraftanlagen.

IEA Klassifikation: 3.6 Hydropower

Schweizer Klassifikation: 2.7 Wasserkraft

Programmschwerpunkte

Die Schwerpunkte in der Wasserkraftforschung resultieren aus der Situation in der Schweiz selbst, aber auch aus der Einbindung der Schweizer Wasserkraftwerke in das europäische Verbundnetz. Neben den eigentlichen technischen Kernthemen spielen die Auswirkungen der Klimaänderung und die sich daraus ergebenden Unsicherheiten, sowie gewässerökologische Fragestellungen eine wichtige Rolle. Grundsätzlich sind alle Fragestellungen förderbar, die zu einer weitergehenden Ausnutzung der Schweizerischen Wasserkraftressourcen beitragen können. Das Programm ist in die Sparten Gross- und Kleinwasserkraft unterteilt.

Die technischen Potenziale der Grosswasserkraft werden bereits zum grössten Teil genutzt und die weiter möglichen Zuwächse in Bezug auf die Produktion sind im Vergleich dazu gering. Dagegen wird die installierte Leistung bei vielen Speicher- und Pumpspeicherkraftwerken derzeit massiv gesteigert, neue Pumpspeicherkraftwerke werden gebaut. Die Speichermöglichkeiten werden im europäischen Verbundnetz dringend benötigt, weil immer grössere Mengen von Strom aus fluktuierenden Quellen (Sonne und Wind) in das Netz eingespeist werden. Aus dieser Rolle im europäischen Verbundnetz und den damit verbundenen häufigen Lastwechseln ergeben sich veränderte technische Anforderungen. In verschiedenen Forschungsprojekten wird daher untersucht, wie die Speicher und deren Betrieb sowie die hydraulischen und elektromechanischen Komponenten der Kraftwerke dafür angepasst werden können. Wasserkraftanlagen, ihre Auslegung und ihr Betrieb werden mittel- bis langfristig bezüglich ihrer Rentabilität schwerer prognostizierbar und die Unsicherheiten, z. B. bezüglich der Strompreisentwicklung,

müssen bei den sehr langfristigen Investitionsentscheidungen mit berücksichtigt werden. Der Klimawandel bewirkt einen stärkeren Eintrag von Schwebstoffen und Geschiebe, was zur Speicherverlandung beiträgt und die Laufräder der Turbinen belastet. Hier müssen langfristig stabile Verhältnisse geschaffen werden und die Speicherverlandung muss kontrollierbar werden. Auch die weitere Revitalisierung der Flüsse im Zusammenhang mit der Wasserkraftnutzung bleibt ein wichtiges Forschungsgebiet. Die Abwärtswanderung der Fische an grossen Flüssen, Fragen im Zusammenhang zu Schwall und Sunk sowie die Wiederherstellung des Geschiebehaushalts sind zentrale Fragen der kommenden Jahre.

Bei den Kleinwasserkraftwerken gibt es noch beträchtliche technische Potenziale, die bisher nicht genutzt sind. Ob und wie weit diese tatsächlich unter technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten noch zur Stromerzeugung herangezogen werden können, ist aber aus Gründen des Gewässer- und Landschaftsschutzes umstritten und in vielen Kantonen werden daher eigene Strategien erarbeitet, wobei gut anwendbare Instrumentarien zur realistischen Potenzialabschätzung noch zu entwickeln sind. Verbesserte und kostengünstige Komponenten, auch solche für spezielle Einsatzbereiche, wie Trinkwasserkraftwerke, werden ständig untersucht und entwickelt.

Rückblick und Bewertung 2012

Das Forschungsprogramm *Wasserkraft* fördert Projekte seit Ende 2008, bis 2012 wurden insgesamt 19 Projekte gefördert, fünf Projekte wurden im Jahr 2012 abgeschlossen. Die derzeit laufenden Projekte stammen fast alle aus dem Bereich Grosswasserkraft und werden

zum grössten Teil aus unterschiedlichen Quellen, einschliesslich Eigenleistungen der Betreiber, gefördert. Alle aktuellen Projekte haben Laufzeiten von mehreren Jahren.

Die Programmleitung war 2012 stark in die Entwicklung unterschiedlicher Energieszenarien für die Schweiz mit eingebunden. Die Frage, ob und unter welchen Randbedingungen die von der Regierung vorgesehene zusätzliche Produktion aus Wasserkraft bis 2020 bzw. 2050 bereitgestellt werden kann, wurde intensiv unter Beteiligung vieler Fachleute diskutiert. Letztendlich wird bezweifelt, ob die Wasserkraft unter den heutigen Randbedingungen die in sie gesetzten Erwartungen tatsächlich erfüllen kann.

Ausblick

Im Jahr 2013 wird sich die nationale aber auch die europaweite Diskussion um die Möglichkeiten und Grenzen der Umstrukturierung der Stromversorgung weiter fortsetzen. Da Lösungen auch vom Verhalten der Nachbarländer, z. B. vom Netzausbau in Deutschland, abhängig sind, können kaum verlässliche Prognosen zur weiteren Entwicklung gemacht werden. Die Betreiber der Wasserkraftanlagen müssen auf Basis dieser schwierigen Planungsgrundlagen Entscheidungen treffen, gleichzeitig basiert die Strompolitik der Regierung auf beträchtlichen Zuwachsraten von der Wasserkraft. Die Diskussion über die zukünftige Sicherung der Stromversorgung und welche Rahmenbedingungen geschaffen werden müssen, damit sich die vom Bundesrat vorgeschlagenen Szenarien realisieren lassen, werden sich 2013 fortsetzen.

Highlights aus Forschung und Entwicklung

Die hier vorgestellten Projekte zeigen einen Ausschnitt aus den Forschungsarbeiten in diesem Programm. Aus dem Bereich Kleinwasserkraftanlagen wird ein abgeschlossenes Projekt vorgestellt, bei dem eine Methode entwickelt wurde, mit der anhand für die ganze Schweiz verfügbarer GIS-Daten Standorte für Kleinwasserkraftwerke hinsichtlich ihrer Gesamtnutzungseignung bewertet werden können. Ein zweites Fallbeispiel befasst sich im Rahmen eines laufenden internationalen Kooperationsprojekts mit Möglichkeiten des Fischabstiegs an Laufkraftwerken an grossen Flüssen. Schliesslich wird ein Pilot- und Demonstrationsvorhaben für sogenannte Nebennutzungsanlagen, in diesem Fall für die Trinkwasserturbinierung, vorgestellt.

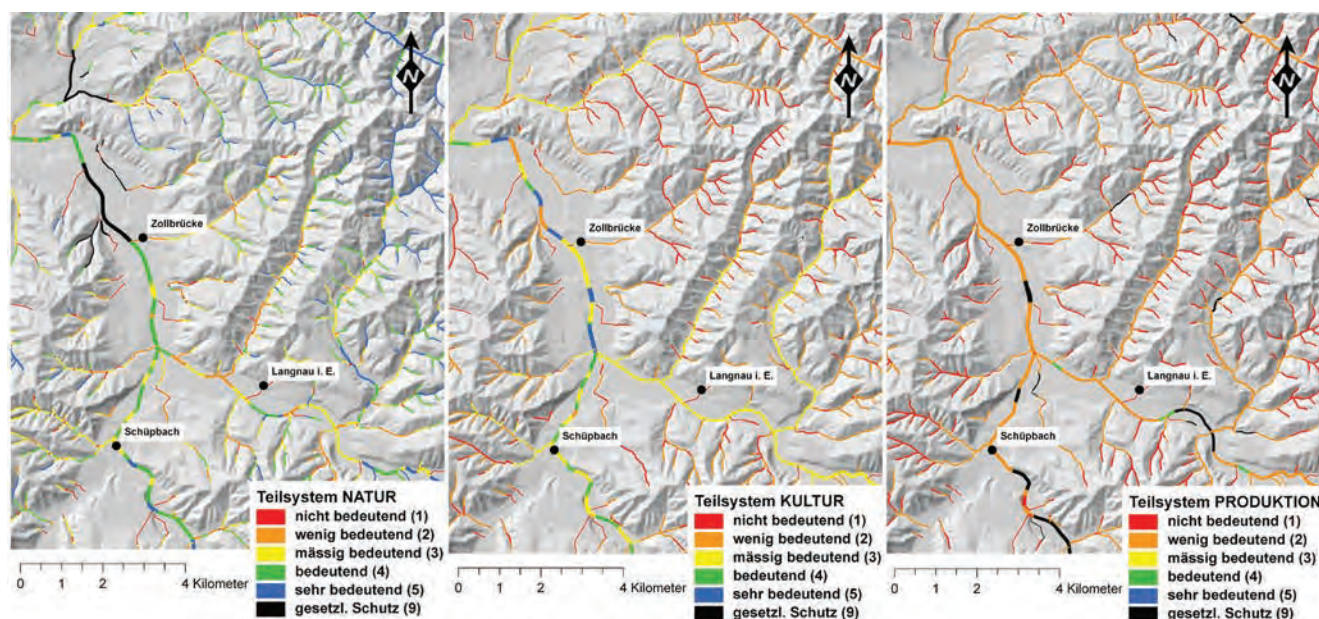
Ganzheitlichen Beurteilung des Kleinwasserkraftpotenzials in der Schweiz

Die Förderung der Kleinwasserkraft ≤ 10 MW führte in der Schweiz zu einem rasanten Anstieg von Projektgesuchen, wodurch sich die Situation im Spannungsfeld zwischen Nutzungs- und Schutzansprüchen an die Ressource

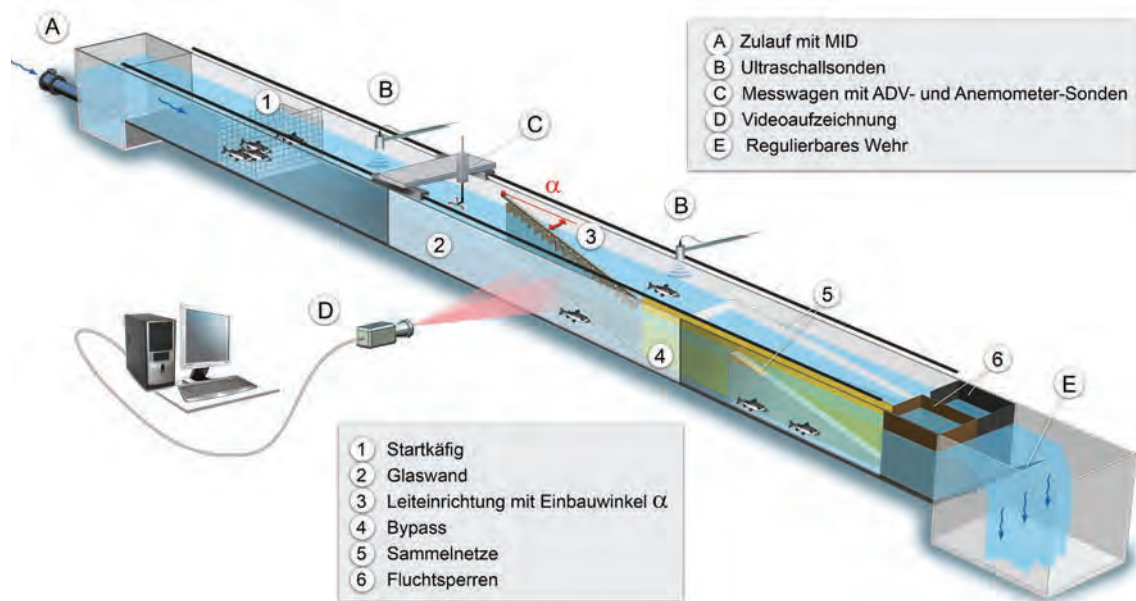
Wasser verschärft. Für die zuständigen Behörden ist es schwierig, über die Nutzbarmachung des verbleibenden Wasserkraftpotenzials zu entscheiden, nicht zuletzt, weil die vorliegenden Hilfsmittel von unzureichender Beurteilungstiefe sind und ihnen insbesondere die ganzheitliche und regionale Betrachtungsweise fehlt.

Das vorliegende Projekt hat deshalb zum Ziel, ein Beurteilungsinstrument auszuarbeiten, welches die berechneten Daten zum theoretischen Wasserkraftpotenzial aus einer ganzheitlichen Sichtweise analysiert. Dazu wurde im Rahmen einer Dissertation am Geographischen Institut der Uni Bern eine Methodik zur ganzheitlichen Beurteilung des Kleinwasserkraftpotenzials (≤ 10 MW) in der Schweiz entwickelt. Sie soll den kantonalen Behörden unter anderem die Entscheidung über die zahlreichen KEV-Projekte erleichtern, indem sie vorangehend geeignete Gebiete und Standorte identifiziert und damit raumplanerische Grundlagen bereitstellt. Zur Bestimmung der Nutzungseignung einzelner Gewässerabschnitte bedient sich die Methodik den Beurteilungen aller Ökosystemfunktionen des Gewässers. Das zentrale Element hierfür ist ein Beurteilungsraster,

das zwei sich ergänzende Raumeinheiten mit unterschiedlicher Betrachtungstiefe hinsichtlich ökologischer, kultureller und wirtschaftlicher Ökosystemleistung untersucht. Standardisierte Rangierungsregeln ermöglichen im Anschluss die systematische Priorisierung der für eine Nutzung geeigneten Standorte. Diese Auswahl ist durch die flexibel wählbare Grenze zwischen Schutz und Nutzung beliebig veränderbar und erlaubt eine spezifische Anpassung der Szenarien an die Energienutzungsziele einer Region. Die vorliegende Methodik liefert in diesem Sinne keine fixfertigen Lösungen, sondern dient vielmehr der Vorarbeit und Unterstützung politischer Entscheidung. Es gelingt ihr, die Interessenskonflikte im Spannungsfeld zwischen Schutz und Nutzung der Gewässer sachlich darzustellen und grossräumige Empfehlungen abzugeben. Hingegen vermag sie die effektive Nutzbarkeit des Wasserkraftpotenzials einzelner Gewässerabschnitte nicht abschliessend zu beurteilen. Hierzu sind detaillierte Abklärungen notwendig. Die Beurteilungsmethodik ist als Arbeitsinstrument zu verstehen, das sowohl objektive, nachvollziehbare (Validität) als auch reproduzierbare Ergebnisse liefert.



Figur 1: Ausprägungsgrad der Ökosystemfunktionen in einem Ausschnitt der Emme (Zwischenergebnis der Synthese). Aus den Kombinationen der drei jeweiligen Ausprägungen wird die Gesamtbewertung abgeleitet, auf der letztendlich die Rankpositionen basieren. Die Rankpositionen entscheiden dann, ob ein Gewässerabschnitt genutzt oder geschützt werden soll, wobei die Rankposition, die den Grenzwert darstellt, nach eigener Einschätzung, z. B. der Kantone, festgelegt werden kann [8].



Figur 2: Versuchsstand für die Untersuchung des Abstiegsverhaltens von Fischen an einem sogenannten Louwer Leitsystem. Die Fische sollen idealerweise die Leiteinrichtung nicht durchschwimmen sondern daran entlang zum Abstiegsgerinne (Bypass) geführt werden. Mit einem solchen System können unterschiedlich Geometrien und Einbauwinkel des Leitsystems getestet werden [9].

In Anlehnung an das Nachhaltigkeitskonzept werden dabei gleichermaßen ökologische, sozio-kulturelle als auch wirtschaftliche Faktoren berücksichtigt und in einen regionalen Kontext gestellt. Das Ökosystem Gewässer mit seinen vielseitigen Ökosystemfunktionen und entsprechenden Leistungen spielt dabei eine zentrale Rolle. Die Ergebnisse werden in Form von Karten präsentiert und zeigen verschiedene Ausbau-Szenarien für die zukünftige Nutzung der Wasserkraft auf. Das Instrument richtet sich vor allem an kantonale Fachstellen und Behörden, wo es als Entscheidungshilfe eingesetzt werden kann. Als äusserst wichtig wird eine gewisse Flexibilität erachtet, welche es dem Anwender ermöglicht, das Ergebnis seinen Bedürfnissen bzw. energiepolitischen Zielen anzupassen.

Der Studie liegen folgende Fragestellungen zu Grunde:

- Welche Ökosystemleistungen sind vorhanden?
- Wie bedeutend sind diese Ökosystemleistungen für den Menschen aus ökologischer, gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Sicht?

- Wo lassen die Ökosystemleistungen eine Nutzung zu?
- Wo überwiegen Schutzinteressen?

Es war in diesem Projekt erforderlich, eine Vielzahl an Faktoren detailliert zu überprüfen und falls nötig zu selektieren, so dass sich die letztendlich vorliegende Auswahl ausschliesslich auf die essentiellen Bausteine beschränkt. Mit der Lütchine und der Emme konnte die Methodik in hydrogeographisch unterschiedlichen Regionen optimiert werden. Weitere Anwendungen folgten in den Einzugsgebieten der Kander und der Simme.

Gewährleistung eines schonender Fischabstiegs an Flusskraftwerken

Die Wasserkraft muss sich neuen Herausforderungen im Zusammenhang mit der Weiterentwicklung der Gewässerschutzgesetzgebung stellen. Insbesondere das mit dem Inkrafttreten des revidierten Gewässerschutzgesetzes im Januar 2011 vorgeschriebene Ziel, die wesentlichen, durch den Menschen verursachten Gewässerbeeinträchtigungen (un-

terbrochene Durchgängigkeit, gestörter Geschiebehalt, Schwall/Sunk) innert 20 Jahren zu beseitigen, stellt eine grosse Aufgabe für die Energiewirtschaft, aber auch die Kantone dar.

Bei kleinen Wasserkraftanlagen werden Fische durch enge Rechenstababstände und geringe Anströmgeschwindigkeiten günstigstenfalls davon abgehalten, bei der Abwärtswanderung in die Turbinen zu schwimmen. Bei grossen Laufwasserkraftwerken sind solch enge Stababstände nicht realisierbar und der Grossteil der Fische steigt daher über die Turbinen ab. Dies führt zu massiven Fischschäden.

Flusskraftwerke können bei der flussaufwärts- und flussabwärts gerichteten Wanderung von Fischen ein Hindernis darstellen. Insbesondere der für die Arterhaltung einiger in mitteleuropäischen Fließgewässern vorkommender Fischarten wichtige Fischabstieg ist beim aktuellen Ausbaustandard der Anlagen nur beschränkt – bzw. nur mit grosser Gefährdung verbunden – möglich. Ziel des Forschungsprojektes ist es, bauliche Massnahmen zum Fischabstieg zu prüfen und so weiterzuentwickeln, dass sie sowohl aus fischökologischer als auch betrieblicher Sicht erfolgreich und

ökonomisch eingesetzt werden können. Ohne die Entwicklung baulicher Massnahmen zur Gewährleistung des schonenden Fischabstiegs ist man auf betriebliche Einschränkungen angewiesen, die eine erhebliche Reduktion der Stromproduktion zur Folge hätten. Diese ist aber auch ökologisch unerwünscht, da sie im Gegensatz zum stetig steigenden Strombedarf steht, der dann zu einem grossen Teil durch klassische, nicht erneuerbare Energien oder Stromimporte gedeckt werden müsste. Die Kantone wiederum sind verpflichtet, notwendige Sanierungsmassnahmen zu planen und die Umsetzungsfristen festzulegen. Diese Planung muss bis Ende 2014 abgeschlossen sein und sollte auf der Grundlage ausgereifter Forschungsergebnisse stehen. Dies erscheint angesichts der knappen Fristen sowie diverser aus Forschungssicht ungelöster Fragestellungen ambitioniert.

Das im März 2011 an der Versuchsanstalt für Wasserbau der ETH Zürich gestartete Projekt verfolgt das Ziel, Fischabstiegstechnologien für die grösseren Flusskraftwerke der Mittellandflüsse durch die Untersuchung, Optimierung und Anpassung bekannter Massnahmentypen am hydraulischen Modell und der folgenden Umsetzung an einem Prototypkraftwerk zu entwickeln und deren Effizienz mittels Fischmonitoring zu überprüfen. Das Projekt wird in Zusammenarbeit mit schweizerischen und deutschen Kraftwerksbetreibern sowie der EAWAG realisiert.

Fischwanderungen finden flussaufwärts wie -abwärts statt. Für diadrome Fische wie z. B. den Aal oder den Lachs ist



Figur 3: Versuchsturbinenwagen mit Turbinenwagen links und Tankwagen, d. h. Wassertank mit Pumpe, rechts. Das Konzept des Versuchsturbinenwagens ermöglicht den autonomen Betrieb mit eigener Wasserversorgung wie auch den Versuchsbetrieb mit Fremdwasser [10].

die flussabwärtsgerichtete Wanderung zwingender Bestandteil der Arterhaltung. Die Wanderung findet aber nicht nur während der Laichzeit statt. Fische verändern auch auf der Suche nach besseren Habitatbedingungen ihren Standort innerhalb eines Flusssystems. Sie passieren dazu bei der Abwärtswanderung, der stärksten Lockströmung folgend, Flusskraftwerke via Turbinen, Grundablass oder Wehrüberfall und sind in vielen Fällen einer grossen Verletzungs- oder Tötungsgefahr ausgesetzt. Die Mortalitätsraten an Francis- und Kaplanturbinen z. B. können abhängig

vom Anlagenlayout, der Anlagengrösse, der Fischart und -grösse bis zu 70 % erreichen.

Bekannt ist, dass die verschiedenen, heute an der Mehrzahl der Kraftwerksanlagen bereits vorhandenen Fischaufstiegswege oder naturnahen Umgehungsgerinne von den Fischen nur selten zur Abwärtswanderung genutzt werden. Neben der Untersuchung innovativer baulicher Massnahmen zum direkten Fischabstieg sollen auch Verhaltensanreize untersucht werden, welche die Abwärtswanderung über die bestehenden Anlagen fördern.

Pilot- und Demonstrationsprojekte

Universal turbine für Wasserversorgungen

Viele Wasserversorgungen für Trinkwasser, Wässerwasser, Berieselungen, Beschneigungsanlagen etc. beinhalten durch die Höhenunterschiede Energiepotenziale, von denen nur ein Teil für die Wasserversorgung benötigt wird. Die

überschüssige Energie wird heute meist mit Druckbrecherschächten und Druckreduzierventilen in nicht weiter nutzbare Wärme umgewandelt. Alleine im Trinkwasserbereich ist das Potenzial immens.

Die Universal turbine wurde von der Stiftung Revita entwickelt. Sie ist eine universell einsetzbare Turbine, welche die

ungenutzte Energie in Wasserversorgungen in elektrische Energie umwandelt. Die Turbine basiert auf dem Prinzip der Pelton turbine und deckt dank modularer Bauweise einen Bereich von 5,5 bis 55 kW ab. Mit der Universal turbine werden Energiepotenziale auch im Gegen- und im kleinen Leistungsbereich

effizient und wirtschaftlich genutzt. Der Begriff Gegendruck ist so zu verstehen, dass das von der Turbine abfließende Wasser nicht Umgebungsdruck aufweist, wie das bei einer normalen Pelton-turbine üblich ist, sondern dass noch ein ausreichender «Gegendruck» vorhanden ist, der für die Wasserversorgung notwendig ist.

In Münster betreibt das Elektrizitätswerk Obergoms (EWO) ein Kleinwasserkraftwerk, in dem eine Trinkwasserquelle auf eine Pilotanlage mit Universal-turbine geleitet wird. Im Rahmen des Projektes «Pilotanlage in Münster (VS)» gab es unter den Projektzielen auch ein Visualisierungskonzept, das mit dem Bau einer Modell-turbine bzw. Versuchsturbine verbunden war. Die Modell-turbine ist ein voll funktionsfähiges Modell der Universal-turbine, das gegendruckfähig ist. Sie ermöglicht projektbezogene Entwicklungen und Untersuchungen. Die Modell-turbine ist so konzipiert, dass sie einfach anpassbar und erweiterbar ist und als Entwicklungs- und Prüfstand dient. In der Entwicklung der Modell-turbine ist die Entwicklung einer Leitvorrichtung (Düsennadelverstellung) enthalten. Die Leitvorrichtung muss die Anforderungen der Gegendruckregelung umsetzen können.

Die Turbine wurde auf einem Modell- oder Versuchsturbinenwagen aufgebaut. Dies ist in vielerlei Hinsicht gewinnbringend, da dieser je nach Bedarf mit einem eigenen Wasserkreislauf betrieben werden kann. Damit können steuerungs- oder turbinentechnische Entwicklungsthemen autonom bearbeitet werden und der Modellturbinenwa-

gen fungiert dann als Entwicklungs- und Prüfstand. Er kann aber auch zur Bekanntmachung der Trinkwasserturbinierung, mitsamt Gegendruckregelung an Messen, Ausstellungen und anderen PR Aktionen eingesetzt werden.

Ohne den eigenen Wasserkreislauf bietet der Versuchsstand die Möglichkeit, an potenten Standorten oder Versuchseinrichtungen Versuche unter spezifischen Bedingungen zu fahren. Ausserdem können Standorte, an denen andere Gegendrucke benötigt werden, simuliert werden. Dabei werden optimale Regelparameter der Gegendruckregelung gefunden, sowie die Auslegung zur Lufteinbringung überprüft. Der Versuchsturbinenwagen ist zur Erfassung der hydraulischen und elektrischen Kenngrößen mit Sensoren und Messgeräten ausgerüstet. Die Steuerung der Modell-turbine entspricht derjenigen der Universal-turbine. Mit LabView wurde die Steuerung der Peripherie des Versuchswagens mit Pumpe und Abflussventil übernommen, die Kenngrößen der Modell-turbine dargestellt sowie die Messdatenerfassung sämtlicher Größen realisiert. Merkmale des Versuchsturbinenwagens sind:

- Das Verhältnis der Abmasse der Modell-turbine zum Prototyp ist ein wenig kleiner als 1:2. Das Peltonrad hat einen Beaufschlagungskreisdurchmesser von 145 mm.
- Die Modell-turbine ist 2-düsigen ausgerüstet. Die Düsen und die Leitvorrichtungen entsprechen technisch der Ausrüstung der Universal-turbine.

- Der Bohrungsdurchmesser der beiden Düsen beträgt 11 mm. Der Durchsatz bei 10 bar nutzbaren Drucks beträgt 6 l/s, was einer hydraulischen Leistung von 4,8 kW entspricht.
- Die Modell-turbine ist mit allen Komponenten für den Gegendruckbetrieb ausgerüstet. Mit dem Versuchsturbinenwagen kann die Funktionsweise der Gegendruckregelung für geschlossene Systeme – dem Einsatz zwischen Reservoir und Verbraucher ohne Ausgleichsbecken – demonstriert werden.
- Die Modell-turbine ist mit zwei Wasserstrahl-Gasverdichtern versehen. Die beiden Strahlpumpen lassen sich einzeln ansteuern.
- Die Modell-turbine ist ausgelegt, um mit einem Zuflussdruck bis 30 bar und einem Gegendruck bis 16 bar umgehen zu können.
- Die Steuerung der Turbine übernimmt eine SPS von Crouzet. Die Peripherie wird via LabView bedient.
- Zu- und Abflussströme sowie Zu- und Abflussdrücke werden gemessen und mit einer Vielzahl weiterer Größen visualisiert.
- Zur Sicherheit der Anlage öffnet ein Überströmventil bei Drücken von über 16 bar im Abfluss.

Der Versuchsturbinenwagen eignet sich durch seinen modularen Aufbau, die gute Messausrüstung, den autonomen Betrieb und die Visualisierung sehr gut zur Weiterentwicklung der Universal-turbine und zur Bekanntmachung und Vorführung der Gegendruckturbिनierung.

Nationale Zusammenarbeit

Die nationale Zusammenarbeit war im Jahr 2012 weiterhin stark von den verschiedenen Diskussionen und Untersuchungen zur Umstrukturierung der Energieversorgung in der Schweiz dominiert. Insbesondere gab es zur Wasserkraft, die einen wesentlichen zusätzlichen Beitrag zur Stromversorgung liefern soll, mehrere Arbeitsgruppen, unter anderem von der Schweizerischen Akademie der tech-

nischen Wissenschaften oder vom Bundesamt für Energie. In den Diskussionen dort ging es einerseits um die generell noch verfügbaren und nutzbaren Potenziale und andererseits darum, welche Eingeständnisse beim Gewässer- und Landschaftsschutz erforderlich wären, um bestimmte Potenziale nutzen zu können. Auch die Notwendigkeit, die Rahmenbedingungen für den weiteren Ausbau der Was-

serkraft zu ändern, wurde immer wieder betont. Wie auch bereits im Vorjahr war die Programmleitung intensiv in diese Arbeiten eingebunden. Zudem wurden die zukünftigen Möglichkeiten der Wasserkraftnutzung und ihre Grenzen an der Cleantech City Messe in Bern in einem Vortrag präsentiert.

Für mehrere der laufenden Forschungsprojekte gibt es Begleitarbeitsgruppen, welche einerseits zusätzliches Fachwissen beisteuern, andererseits aber auch für die Umsetzung der Ergebnisse der Forschungsarbeiten in die zukünftige Praxis zuständig sind. Diese Begleitarbeitsgrup-

pen trafen sich wie auch in den Vorjahren zu mehr oder weniger regelmässigen Sitzungen, um die Forschungsprojekte zu unterstützen.

Generell werden die meisten der geförderten Projekte von anderen Organisationen co-finanziert und im Fall von Themen aus der Grosswasserkraft auch immer wesentlich durch die Betreiber der grossen Wasserkraftanlagen mit getragen. Hier werden im Regelfall auch grosse Eigenbeiträge geleistet. Jedes einzelne Forschungsprojekt wird damit durch ein nationales Netzwerk gefördert, unterstützt und getragen.

Internationale Zusammenarbeit

Ein von der Wasseragenda 21 organisierter Workshop zur Schwall- und Sunk-Problematik brachte Wissenschaftler aus Norwegen, Österreich, Deutschland und der Schweiz zusammen. Die Alpenkonvention tagte direkt im Zusammenhang damit ebenfalls zu diesem Thema, so dass insgesamt ein sehr konzentrierter Austausch von Ideen und Einschätzungen zu diesem brisanten Thema stattfand.

Mit dem norwegischen Center for Environmental Design of Renewable Energy CEDREN in Trondheim gibt es einen ständigen Austausch; dort werden eine Reihe von wasserkraftbezogenen Themen erforscht, die auch für die Schweiz hohe Relevanz besitzen.

Das Forschungsprojekt «Fischabstieg» (siehe Highlights) ist ein internationales Kooperationsprojekt mit deutschen Partnern, die ebenfalls Laufwasserkraftwerke an grossen Flüssen betreiben. Da die Fische sich nicht an politische Grenzen orientieren, sind für die Sicherstellung der Durch-

gängigkeit an den internationalen Gewässern auf jeden Fall auch internationale Bemühungen gefragt. Eine Reise in die USA zu einigen der weltweit grössten Fischaufstiegs- und -abstiegshilfen ist für das Jahr 2013 geplant.

Die in der Schweiz unter anderem mit Förderungen durch das BFE entwickelte Universalturbine wird jetzt in einem gemeinsamen Forschungsprojekt mit der Universität Stuttgart eingesetzt. Hier soll unter anderem mit Hilfe des Versuchsturbinenwagens untersucht werden, welche Technologien sich zur Energiegewinnung in Trinkwasserkraftwerken am besten eignen.

Anlässlich des schweizerisch-japanischen Joint Committee Meetings in Tokyo, das der Umsetzung des Abkommen zwischen dem schweizerischen Bundesrat und der japanischen Regierung über die wissenschaftliche und technologische Zusammenarbeit dient, fand ein Austausch über das Thema «Hydro-electric generation and other renewable energy sources in Switzerland» statt.

Referenzen

[1] BFE (2007): *Energieforschungsprogramm Wasserkraft für die Jahre 2008 – 2012*

[2] BFE (2012). *Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2011*

[3] CORE/BFE: *Konzept der Energieforschung des Bundes 2008–2012*

[4] SATW (2012). *Zukunft Stromversorgung Schweiz, Bericht der Akademien der Wissenschaften Schweiz, Bern, 2012*

[5] BFE (2012). *Wasserkraftpotenzial der Schweiz -Abschätzung des Ausbaupotenzials der Wasserkraftnutzung im Rahmen der Energiestrategie 2050*

[6] BFE (2012). *Energiestrategie 2050: Erstes Massnahmenpaket*

[7] Schröder U., R. Weingartner, C. Hemund (2012): *Erhebung des Kleinwasserkraftpotenzials der Schweiz, BFE Forschungsprogramm Wasserkraft.*

[8] Hemund, C. (2012): *Methodik zur ganzheitlichen Beurteilung des Kleinwasserkraftpotenzials in der Schweiz. Dissertation, Geographisches Institut der Uni Bern, www.hydrologie.unibe.ch/download/518_Hemund.pdf*

[9] Kriewitz, C.R., Albayrak, I. Boes, R. (2012): *Massnahmen zur Gewährleistung eines schonenden Fischabstiegs an grösseren mitteleuropäischen Flusskraftwerken, ETHZ-VAW (2012).*

[10] Kamber, P. (2012): *Pilotanlage Münster (VS) – Universalturbine für Wasserversorgungen, stiftung revita, Langenbruck, www.revita.ch. Schlussbericht, BFE Forschungsprogramm Wasserkraft.*

PILOTANLAGE MÜNSTER (VS): UNIVERSALTURBINE FÜR WASSERVERSORGUNGEN

P&D 3.6.2

Lead: Stiftung Revita

Funding: BFE

Contact: Bruno Schindelholz

info@revita.ch

Period: 2009–2012

Abstract: Die so genannte Universal Turbine ist eine Pelton Turbine, wie in einem Überdruckbehälter läuft. Der Druck in diesem Behälter entspricht dem Gegendruck, der für ein nachgeschaltete Wasserversorgung notwendig ist. Diese Turbinen werden daher in Wasserversorgungsanlagen eingesetzt. In diesem Projekt wurde ein Prototyp gebaut und erprobt.

RÄUMLICH DIFFERENZIERTE ABSCHÄTZUNG DES GANZHEITLICHEN KLEINWASSERKRAFT-POTENZIALS IN DER SCHWEIZ

R&D 3.6.1

Lead: Geogr. Institut, Uni Bern

Funding: BFE

Contact: Rolf Weingartner

rolf.weingartner@giub.unibe.ch

Period: 2012–2013

Abstract: In einem früheren Forschungsprojekt wurde eine Methodik zur Abschätzung des Kleinwasserkraftpotenzials unter energiewirtschaftlichen, ökologischen und sozioökonomischen Gesichtspunkten entwickelt. In diesem Projekt soll daraus ein praxistaugliches GIS basiertes Tool entwickelt und in einer Pilotregion angewandt werden.

SCHWEBSTOFF-MONITORING UND VERSCHLEISS AN PELTON TURBINEN

R&D 3.6.1

Lead: Eidg. Technische Hochschule Zürich

Funding: BFE SER BKW GWK

Contact: Robert Boes

boes@vaw.baug.ethz.ch

Period: 2011–2013

Abstract: Schwebstoffe im Triebwasser von Wasserkraftanlagen führen insbesondere bei Hochdruckanlagen zu Abrasionsschäden. In diesem Projekt werden neue Beschichtungen für die Schaufeln von Pelton Turbinen untersucht, die die Lebensdauer der Laufräder deutlich verlängern sollen.

SUSTAINABLE SEDIMENTATION IN PUMPED STORAGE PLANTS

R&D 3.6.1

Lead: Ecole Polytechnique Fédérale Lausanne

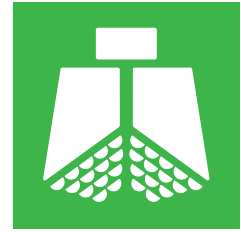
Funding: BFE CCEM

Contact: Anton Schleiss

anton.schleiss@epfl.ch

Period: 2009–2012

Abstract: Beim Pump- und Turbinenbetrieb in Speicherkraftwerken wird nicht nur Wasser sondern auch suspendierte Stoffe bewegt. In Abhängigkeit von den sich ausbildenden Strömungsverhältnissen bleiben diese Stoffe in der Schwebe oder setzen sich ab. Im Labor sowie an einem Prototyp werden diesen Vorgänge untersucht und aus den Ergebnissen numerische Modelle entwickelt und kalibriert, mithilfe derer die Verlandungsprozesse besser analysiert werden können.



Rudolf Minder

Geothermie



Bohrturm der Bohrung Schlattingen 2

Die direkte Nutzung der Geothermie in landwirtschaftlichen Betrieben (hier: Grob Gemüse & Landbau in Schlattingen/TG) hat grosses Potenzial, die Umstellung von fossilen Brennstoffen auf erneuerbare Energiequellen zu ermöglichen. Nach der technisch erfolgreichen ersten Bohrung in Schlattingen wird Anfang 2013 eine zweite, abgelenkte Bohrung abgeteuft. Wichtige Grundlagen und Daten für die geothermische Erkundung der Nord Schweiz werden damit gewonnen und – für die Schweiz – neue Anwendungen der Geothermie erschlossen.

Einleitung

Der Begriff geothermische Energie umfasst mehrere Arten von Ressourcen, welche sich bezüglich Nutzung und Entwicklungsstand stark unterscheiden (Figur 1). Die Technik der Erdwärmesondenanlagen (EWS) zur Beheizung von Gebäuden ist heute weitgehend ausgereift und die Systeme können sich erfolgreich am Markt behaupten. Im Jahr 2011 wurden rund 2'600'000 m Erdwärmesonden abgeteuft, davon sind ca. 35 % Sanierungen von Altbauten [1]. Für 2012 dürften sich ähnliche Zahlen ergeben. Der Markterfolg der EWS zeigt, dass die von der öffentlichen Hand zu finanzierenden Forschungsbedürfnisse dieser Technik weitgehend abgedeckt sind. Die Unterstützung im Bereich der Niedertemperatur- oder untiefen Geothermie zielt deshalb primär auf grosse und komplexe Anlagen, insbesondere für kombiniertes Heizen und Kühlen sowie auf Verbesserungen bezüglich Qualität, Effizienz und Wirtschaftlichkeit. Auch im Gebiet der tiefen EWS (>300 m) sowie Geo-Strukturen wie z. B. Energiepfählen [2] sind weitere Forschungsprojekte von Interesse.

Die hydrothermalen Ressourcen (z. B. Heisswasser führende Aquifere und/oder Bruchstrukturen im Untergrund) sind im Gegensatz zu den EWS nur in speziellen Gebieten verfügbar, wo Wassermenge, Temperatur und Produktivität

ausreichend sind. Je nach Temperatur des Wassers kann die Wärme direkt zu Heizzwecken genutzt werden, bei sehr günstigen Verhältnissen ist auch eine Stromproduktion möglich. Wegen der geringen Zahl bisher realisierter Projekte besteht für Forschung und Entwicklung sowie Pilot- und Demonstrationsanlagen ein substantieller Bedarf.

Die dritte Hauptkategorie, die Technik der «Enhanced oder Engineered Geothermal Systems» (EGS) hat weltweit wie auch in der Schweiz ein sehr grosses Potenzial, da solche Systeme in vielen Regionen realisierbar sind. Die Erfahrungen bezüglich der induzierten Seismizität mit dem Projekt in Basel haben gezeigt, dass für die Entwicklung von tiefliegenden Reservoirs noch wenig Erfahrung vorliegt und dass in diesem Bereich noch grosse, langfristige Forschungsanstrengungen notwendig sind. Wegen des grossen Aufwands besonders wichtig ist deshalb die Teilnahme der Schweiz an internationalen Programmen wie dem IEA Geothermal Implementing Agreement und der International Partnership for Geothermal Technology IPGT sowie Projekten der Europäischen Union. Die nachhaltige Gewinnung von Wärme aus einem in 5000 m Tiefe liegenden Felsvolumen ist eine enorme Herausforderung und erfordert Kenntnisse aus den verschiedensten Disziplinen.

IEA Klassifikation: 3.5 Geothermal

Schweizer Klassifikation: 2.5 Geothermie

Programmschwerpunkte

Die Schwerpunkte der Geothermie-Forschung lagen 2012 wiederum in der tiefen Geothermie, einerseits bei den hydrothermalen Quellen, andererseits bei den Enhanced Geothermal Systems (EGS). Im Bereich der untiefen Geothermie beschränken sich die Forschungsarbeiten auf besondere, noch nicht am Markt etablierte Anwendungen, sowie auf Fragen der Effizienz und Qualitätssicherung.

Für die Nutzung tief liegender hydrothormaler Ressourcen besteht Forschungsbedarf bei den geophysikalischen Methoden der Prospektion mit dem Ziel, das Fündigkeitsrisiko zu reduzieren. Von grosser Bedeutung ist neben der eigentlichen Forschung die Realisierung von Pilot- und Demonstrationsanlagen. Mit der Unterstützung mehrerer Projekte in verschiedenen Regionen der Schweiz sowie auch im Ausland sollen – in Zusammenarbeit mit Kantonen, Gemeinden und der Privatwirtschaft – in den nächsten Jahren erste Projekte für die kombinierte Strom- und Wärmeerzeugung realisiert werden. Wegen des grossen Potenzials – laut IEA [3] weltweit, aber auch lokal in der Schweiz – grosse Hoffnung auf die Technik der Enhanced/Engineered Geothermal Systems (EGS) gesetzt.

Rückblick und Bewertung 2012

Bei der geothermischen Forschung ergaben sich im Jahr 2012 gegenüber den Vorjahren keine grundlegenden Verschiebungen in den Prioritäten. Nach wie vor lag der Fokus auf den Aspekten der tiefen Geothermie. Bei den tiefen hydrothermalen Ressourcen befinden sich derzeit einige Projekte in verschiedenen Stadien der Bearbeitung. Ein erster Er-

folg konnte 2012 mit dem Wärmeprojekt Schlattingen [4] verbucht werden. In einer Tiefe von 1200 m wurde heisses Wasser von ca. 62 °C gefunden. Nach Säuerung der Quelle konnte eine Ergiebigkeit von knapp 8 l/s erzielt werden. Wichtige Fortschritte wurden auch beim Projekt der Stadt St. Gallen erzielt. Ende Jahr war der Bohrplatz weitgehend vorbereitet, sodass ein Bohrbeginn im ersten Quartal 2013 möglich wird [5]. Das Projekt St. Gallen hat eine Zusage für die Bürgerschaft zur Risikoabsicherung gemäss Energiegesetz erhalten.

Die Forschung im Gebiet der Enhanced Geothermal Systems (EGS) ist langfristig ausgelegt. Die Erfahrungen mit dem Projekt DHM Basel und auch mit Projekten in Deutschland haben gezeigt, dass den Risiko-Aspekten grosse Bedeutung zukommt und dass in diesem Bereich auch forschungsmässig noch viel Arbeit zu leisten ist. Grosse Fortschritte wurden in der Aufarbeitung des Basler Projektes durch das Projekt GEOTHERM [6] erzielt. Die Schweizer Beteiligung am EGS – Pilotprojekt Soultz [7] wurde 2012 abgeschlossen. Wegen der langfristigen und aufwändigen Forschung in diesem Bereich wurde die internationale Vernetzung über Organisationen wie der IEA [8], der IPGT [9] oder dem 2012 begonnenen EU-Projekt Geothermal ERA-NET [10] weiter ausgebaut.

Bei der untiefen Geothermie wurden insbesondere Projekte mit tiefen Erdwärmesonden – im Bereich von 300–1000 m – unterstützt. Damit kann längerfristig der EWS-Markt weiter ausgeweitet werden. Weitere wichtige Arbeiten betrafen die Bereiche Energiepfähle sowie Studien über EWS in geologisch kritischen Zonen.

Ausblick

Für das Jahr 2013 sind beim Forschungsprogramm keine grundsätzlichen Änderungen geplant. Das Detailkonzept für die Jahre 2013–2016 setzt die Fokussierung auf hydrothermale Geothermie und Enhanced / Engineered Geothermal Systems fort und präzisiert die vorgesehenen Arbeitsbereiche. Von kurzfristig höchster Priorität ist es, im hydrothermalen Bereich erste Erfolge zu erzielen und damit die praktische Nutzbarkeit dieser Ressource nachzuweisen. Hier liegen die Hoffnungen vor allem auf dem Projekt Geothermie St. Gallen, bei dem die Bohrarbeiten im ersten Quartal 2013 beginnen werden. Nachdem die erste Bohrung in Schlattingen ermutigende Resultate ergab, wird 2013 bei diesem Projekt eine zweite, abgelenkte Bohrung abgeteuft.

Neben der Unterstützung von Forschungs- sowie Pilot- und Demonstrationsprojekten in der Schweiz ist auch eine weitere Intensivierung der internationalen Zusammenarbeit geplant. Insbesondere im Bereich der Enhanced/Engineered Geothermal Systems soll die Mitwirkung von Schweizer Forschern in verschiedenen Arbeitsgruppen der IPGT intensiviert werden. Wichtig ist auch die weiterhin intensive Beteiligung der Schweiz an den europäischen Projekten «Geothermal ERA-NET» und «GeoMol» [11] sowie am Geothermieprogramm der IEA, bei dem die Schweiz ab 2013 die Leitung für den Annex 8 «direct use» übernimmt.

Highlights aus Forschung und Entwicklung

Geothermie-Ressourcen in Davos

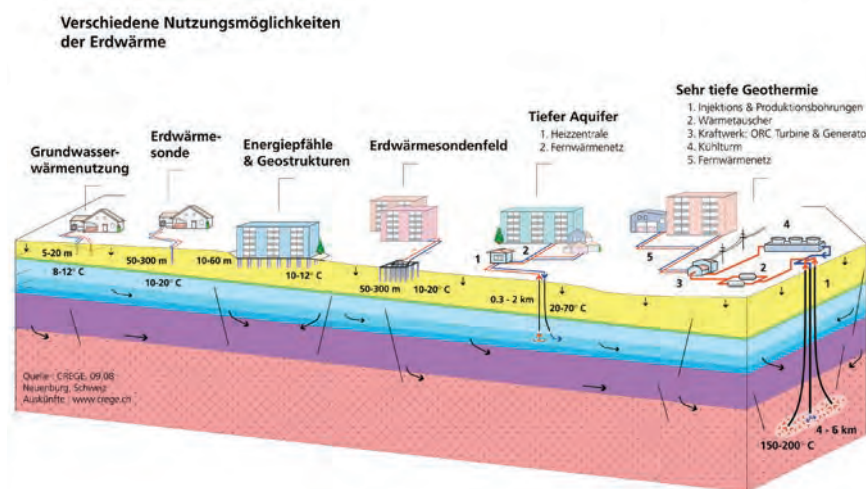
Ausgehend vom Wärmebedarf des neuen Erweiterungsbaus für das Kongresszentrum und des Hallenbads Davos wurden Untersuchungen zum geothermischen Potenzial des Gebiets vorgenommen. Mit dem Ersatz fossiler Energieträger durch Erdwärme könnte der CO₂-Ausstoss der erwähnten Bauten massiv reduziert werden. Weil die Nutzung der Erdwärme über ein Erdsondenfeld nicht realisiert werden kann, musste man die Nutzung auf Grundwasser aus tieferen Schichten konzentrieren. Die im Jahr 2010 begonnene geothermische Ressourcenanalyse umfasste seismische Untersuchungen zur Identifikation der tektonischen und strukturellen Verhältnisse mit je einem Quer- und Längsprofil. Die Analyse der seismischen Messdaten bestätigte die Zweckmässigkeit einer Erkundungsbohrung. Diese Bohrung konnte schliesslich vom Mai bis Juli 2012 bis zu einer Tiefe von 400 m erfolgreich realisiert werden. Die mit dem Bohrloch erschlossene Quelle liefert – ohne Absenkung – rund 1200 l/min bei einer Temperatur von 11,4 °C (Figur 2). Dieser Ertrag eignet sich für eine Nutzung mit Wärmepumpen wobei eine gute Arbeitszahl erreichbar sein wird. In einem weiteren Arbeitsschritt wurden im Hinblick auf die Nutzung verschiedene Untersuchungen an der Bohrung vorgenommen:

- Zweistufiger Auslaufversuch mit Logging des Kalibers, der Temperatur und der elektrischen Leitfähigkeit am Ende jeder Stufe (Stufe 1 ca. 700 l/min, Stufe 2 ca. 1300 l/min), Entnahme und Analyse von Wasserproben. Figur 2 zeigt das Resultat des Auslaufversuchs der Geothermie-Bohrung.
- Zweistufiger Pumpversuch mit Logging des Kalibers, der Temperatur und der elektrischen Leitfähigkeit am Ende jeder Stufe (Stufe 3 ca. 2000 l/min, Stufe 4 ca. 2500 l/min), Entnahme und Analyse von Wasserproben (technische Wasserqualität, Isotopenuntersuchungen und Wasseralter).
- Grundwasser- und Quellüberwachung bei verschiedenen bestehenden Wasserfassungen.

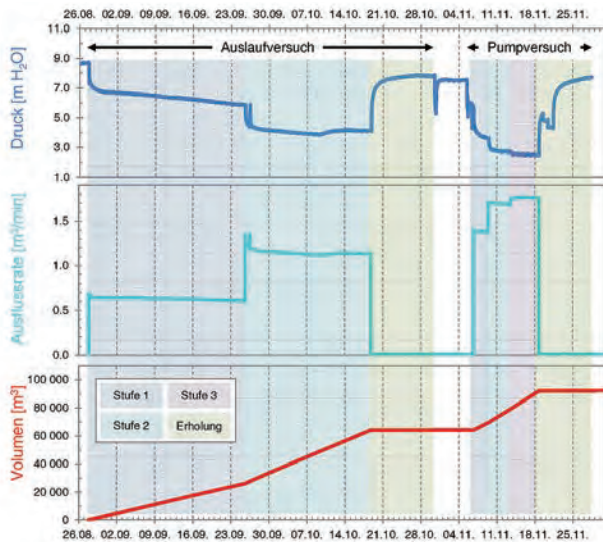
Neben der direkten Verwendung für das Kongresszentrumprojekt erlauben die Untersuchungen auch generelle Aussagen über die geothermischen Nutzungsmöglichkeiten an anderen Standorten der Landschaft Davos, wo ein grosses Wärmebedarfspotenzial durch Substitution fossiler Heizsysteme besteht. Aus den Pumpversuchen, deren Ergebnisse Anfang 2013 vorliegen werden, erhofft man sich auch Erkenntnisse über die Möglichkeit, tiefer liegende, wärmere Aquifere zu erschliessen. Neben dem lokalen Nutzen werden auch Resultate erwartet, welche für andere Standorte in alpiner Lage nützlich sein werden.

Seismologische Überwachung tiefer Geothermie-Projekte

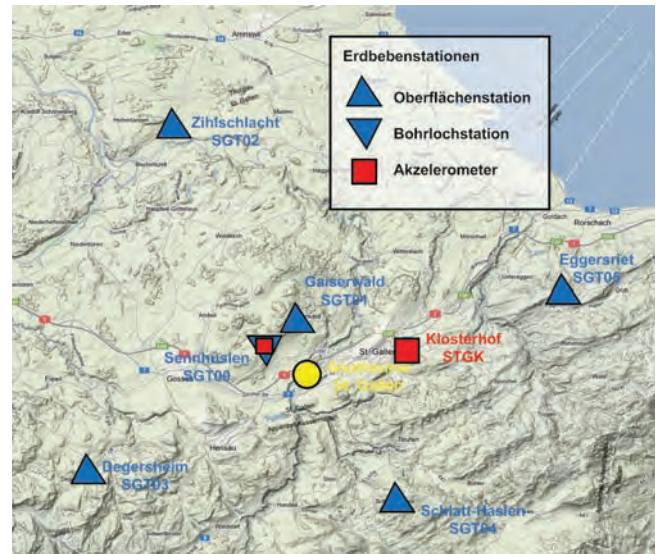
Ziel des Projektes GeoBest ist, einen Beitrag zur langfristigen Entwicklung der Tiefengeothermie zu leisten. Dazu unterstützt der Schweizerische Erdbebendienst SED [13] einerseits Pilotprojekte in den drei seismotektonisch stark unterschiedlichen Zielregionen der Tiefengeothermie in der Schweiz bei der seismischen Überwachung und Gefährdungsabschätzung. Andererseits soll ein Leitfaden für kantonale Bewilligungs- und Aufsichtsbehörden zu diesen Themen erarbeitet werden, welcher die Planungssicherheit von zukünftigen Projekten verbessern soll. Im Einzelnen werden ausgewählte Pilotprojekte bei der seismologischen Überwachung und Dateninterpretation unterstützt. Ziel ist dabei, den Dialog zwischen SED und Betreibern zu fördern und dem SED Zugang zu den relevanten Betriebsdaten zu ermöglichen sowie in der Anfangsphase der Projekte praktische Erfahrungswerte zu sammeln und hochqualitative Daten zu erheben. Der Leitfaden umfasst Erstellung, Betrieb und Beurteilung von seismischen Überwachungsnetzen von Tiefengeothermie-Projekten sowie Auswertung und Dokumentation der registrierten Seismizität (Lokalisierungsmethoden, Magnitudenbestimmung, Bodenunruhe, optimale Netzwerkkonfiguration), in Abstimmung mit Betreibern, Kantonen und Bund und der Serviceindustrie. Der Leitfaden beinhaltet unter anderem eine Zusammenstellung der «Best Practice» im Bereich Risikoanalysen und Interventionskonzepte sowie Vorschläge für Richtwerte für maximal zulässige Magnituden und Bodengeschwindigkeiten oder probabilistische Erwartungswerte dieser Grössen. Der Leitfaden ist eng mit dem EU FP7 Projekt GEISER [14] verknüpft. GEISER hat eine ähnliche Zielsetzung auf europäischer Ebene, wenngleich keine aktive Messkomponente. Der SED nimmt in GEISER eine Schlüsselfunktion in der Entwicklung von Richtlinien zur Überwachung und Gefährdungsanalyse ein. Eine Empfehlung für die seismologische Überwachung von induzierter Seismizität wurde mit massgeblicher Beteiligung des SED im Rahmen der Arbeitsgruppe Induzier-



Figur 1: Die Nutzungskonzepte der Geothermie reichen von Erdwärmesonden im oberflächennahen Bereich über die direkte Nutzung der heissen geothermalen Fluide bis hin zur Strombereitstellung.



Figur 2: Auslaufversuch der Geothermie-Bohrung in Davos: Eine Wasserentnahme führt zu einer Senkung des Wasserspiegels im Bohrloch und damit zu einer Druckminderung. Die Ausflussrate ist direkt korrelierbar mit dem Wasserspiegel und Wasserdruck im Bohrloch. Somit können nachhaltige Wasserentnahmen ermöglicht werden – in diesem Test rund 80'000 m³.



Figur 3: Projekt GeoBest: Positionen der Sensoren für die Überwachung einer möglichen, aber nicht-spürbaren Seismizität im Rahmen des Geothermieprojekts St. Gallen. Das Echtzeitmonitoring ist öffentlich zugänglich unter www.seismo.ethz.ch/monitor/temp_net/sg/index.

te Seismizität des Forschungskollegiums Physik des Erdkörpers FKPE [15] erarbeitet. Sie wird als Grundlage für einen Schweizerischen Leitfaden dienen.

Die Hardware für 12 seismologische Messstationen wurde Ende 2010 beschafft. Diese Geräte bilden einen Instrumenten-Pool, der zur Überwachung von gleichzeitig zwei Pilotprojekten ausreicht. Jeweils sechs Messstationen werden einem Pilotprojekt für die Dauer von maximal zwei Jahren zur Verfügung

gestellt. Sechs seismologische Messstationen des GeoBest -Instrumenten-Pools waren ab August 2011 für Bodenunruhemessungen bei der Standortsuche für das Überwachungsnetz des Geothermieprojekts der Sankt Galler Stadtwerke [16] im Einsatz. Seit Februar 2012 sind diese Messgeräte an sechs Standorten im Grossraum St. Gallen installiert und liefern wichtige Daten zur Erfassung der natürlichen Hintergrundseismizität in der Umgebung der geplanten Tiefbohrungen (Figur 3).

Im Weiteren wurde Software zur Planung und Beurteilung von seismologischen Überwachungsnetzen erstellt und an regionalen und lokalen Beispielen getestet. Die Software wurde für die Planung des Überwachungsnetzes für das erste Pilotprojekt eingesetzt. Weitere Softwarepakete zur Abschätzung der Störsignalverminderung mit der Bohrlochtiefe und der Detektionswahrscheinlichkeit von Störungen mit 3D-Seismik sowie der zur Analyse von induzierter Seismizität sind in Bearbeitung.

Pilot- und Demonstrationsprojekte

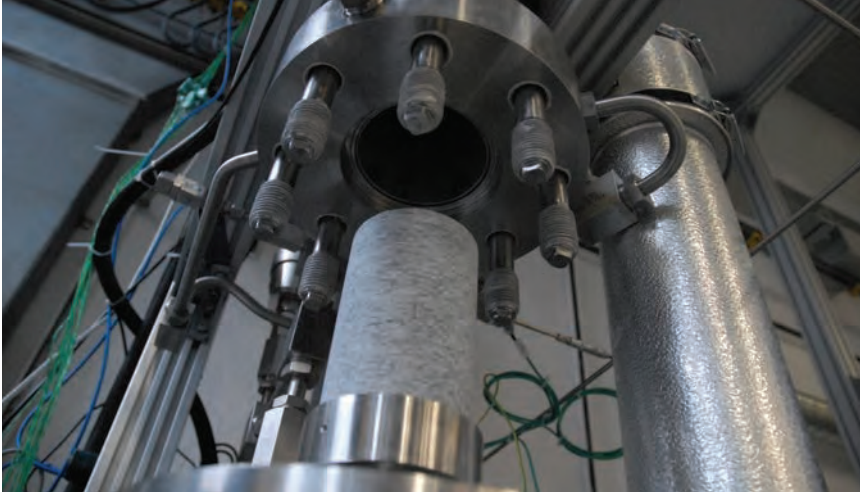
Tiefenbohrverfahren mittels hydrothormaler Flamme

Die Entwicklung von kostengünstigen Bohrverfahren ist für den langfristigen Erfolg der tiefen Geothermie, insbesondere der EGS-Technik, von entscheidender Bedeutung. Im Rahmen des Projekts Hydrothermal Spallation Drilling wird eine neuartige Bohrtechnologie für tiefe geothermische Bohrungen untersucht. Bei diesem Verfahren wird die oberste Gesteinsschicht mit Hilfe einer auftretenden Flamme sehr schnell aufgeheizt.

Aufgrund der geringen Wärmeleitfähigkeit des Gesteins wird ein steiler Temperaturgradient in den oberen Gesteinsschichten induziert, was zu hohen thermischen Spannungen aufgrund von Längenausdehnung führt. Diese Spannungen werden schliesslich durch das Abplatzen der oberen Gesteinsschicht abgebaut. Am Institut für Verfahrenstechnik der ETH Zürich [12] wurde eine Pilotanlage gebaut (Figur 4), in welcher der Bohrvorgang in wässriger Umgebung und unter hohem Druck (250 bar)

simuliert werden kann. Dabei gilt es, die Herausforderungen aufzuzeigen, die unter solchen Bedingungen entstehen können.

Für den Erfolg einer Tiefenbohrung ist der Einsatz einer geeigneten wasserbasierten Bohrspülung unerlässlich. Dass es möglich ist, eine Flamme direkt in überkritischem Wasser (>374 °C und >221 bar) zu betreiben, wurde in vorangegangenen Forschungsprojekten im Bereich der überkritischen Nassoxidation bereits gezeigt. Über dem kritischen



Figur 4: Pilotanlage zur Entwicklung von Tiefenbohr-Verfahren mittels hydrothormaler Flamme: Gesteinsproben werden in-situ Bedingungen ($>374\text{ °C}$ und $>221\text{ bar}$) ausgesetzt. Eine hydrothermale Flamme wird innerhalb des Druckbehälters aus Stahl gezündet. Die resultierenden thermalen Spannungen werden durch den Ausbruch der Gesteinskörner abgebaut – es entsteht ein Bohrloch.

Punkt verändert Wasser seine thermophysikalischen Eigenschaften; es ist weniger polar, hat keine Phasengrenzflächen mehr und damit gute Transporteigenschaften für eine Verbrennung. In einem wassergefüllten Bohrloch ab ca.

2,5 Kilometer Tiefe überschreitet der hydrostatische Druck den kritischen Druck für Wasser (221 bar) und somit eignet sich dieses Konzept der hydrothermalen Flamme als Wärmequelle für die Spallation Drilling Technology.

Um die Machbarkeit von «Hydrothermal Spallation Drilling» zu demonstrieren und das Konzept näher an die industriellen Anwendung zu bringen, sind aktuell drei Forschungsprojekte an der ETH Zürich im Gange. Ein bestehender Hochdruckreaktor wurde umgebaut und spezielle Wärmeflussensoren für eine wässrige Umgebung entwickelt. Damit soll der Wärmeübergang einer hydrothermalen Flamme auf eine metallische Platte experimentell untersucht werden. Eine weitere Arbeit befasst sich mit der theoretischen Beschreibung der Vorgänge mittels Modellen und Simulationen. Das Ziel ist die Entwicklung eines «Engineering Tools» für die zukünftige Auslegung eines möglichen Bohrkopfes. Schliesslich soll, basierend auf den ersten Resultaten der genannten Projekte eine wesentlich grössere Hochdruck-Pilotanlage entwickelt und gebaut werden. Experimente mit Gesteinsproben werden es erlauben, alle notwendigen Parameter und Funktionen im Hinblick auf die kommerzielle Anwendung dieser Technologie zu untersuchen.

Nationale Zusammenarbeit

Im Berichtsjahr wurde insbesondere mit den nachstehend aufgeführten Schweizer Institutionen zusammengearbeitet. Im Weiteren wurde wiederum ein «Round Table»-Anlass gemeinsam mit geothermie.ch organisiert und das Forschungsprogramm *Geothermie* an verschiedenen Konferenzen und Tagungen vorgestellt.

1. Universitäten und Fachhochschulen: ETHZ (Departemente für Verfahrenstechnologie und Maschinenbau und Erdwissenschaften, Schweizerischer Erdbebendienst SED), Universität Basel, Université de Neuchâtel und Laboratoire Suisse de Géothermie CREGE, Neuchâtel, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Wädenswil, EPFL (Département de génie civil, Institut des sols, roches et fondations).

2. Stromindustrie und Wärmeversorgung: Axpo AG, Neue Energien, Glattbrugg, Sol-E Suisse AG, Bern, Geo-Energie Suisse AG, Basel, Services Industriels de Genève, Services Industriels de Lausanne, Canton de Vaud: service de l'environnement et de l'énergie, Technische Betriebe St. Gallen, Stadtwerk Winterthur, Gemeinde Landschaft Davos.

3. Bundesämter, Agenturen und Fachverbände: Swisstopo, Bundesamt für Umwelt, Agentur für erneuerbare Energien und Energieeffizienz (AEE, APES), Aktion für vernünftige Energiepolitik Schweiz (AVES), BAFU, Geothermie.ch, SBF, Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz (FWS) u.a.

4. Energiefachstellen verschiedener Kantone

5. Wissens- und Technologietransfer: Am 26. September 2012 wurde gemeinsam mit Geothermie.ch wiederum ein «Round table» zu den Aspekten der Tiefengeothermie durchgeführt mit dem Ziel der gegenseitigen Information der verschiedenen Akteure. Insbesondere ergab sich ein Informationsaustausch und Diskussion bezüglich der rechtlichen, wirtschaftlichen und verfahrenstechnischen Rahmenbedingungen auf nationaler und kantonaler Ebene. Aktuelle Schweizer Projekte in verschiedenen Phasen der Bearbeitung wurden vorgestellt und diskutiert.

Weitere Aktivitäten im Bereich Wissens- und Technologietransfer waren die Journée Romande de Géothermie am 27.11.2012 in Yverdon sowie vom 22.–28. September 2012 ein IPGT Workshop in Castasegna (GR) zum Thema «Benchmarks for geothermal code development and testing», welcher von der ETHZ organisiert wurde.

Internationale Zusammenarbeit

International Energy Agency (IEA) [8]: Das «Geothermal Implementing Agreement GIA» bietet einen ausgezeichneten Rahmen international zu den folgenden Themen zu kooperieren; (1) Umweltaspekte geothermischer Projekte, (2) Enhanced Geothermal Systems, (3) zukünftige Bohrtechnologien und (4) direkte Nutzung geothermischer Ressourcen. Das GIA ist derzeit in der dritten 5-Jahresperiode, welche 2013 abläuft und voraussichtlich verlängert wird. Ziele sind, die existierende Technologien zu verbessern und neue Technologien zu entwickeln, den Know-how-Transfer zu intensivieren, Informationen verfügbar zu machen und die Vorteile der Nutzung geothermischer Ressourcen zu kommunizieren.

Um der Geothermie – einer im Angesicht des enormen Potenzials notorisch unterschätzten erneuerbaren Ressource – eine bessere Positionierung zu ermöglichen, hat das IEA Sekretariat 2011 eine «Geothermal Technology Roadmap» erarbeitet, welche die erwartete Entwicklung der geothermischen Energiegewinnung weltweit aufzeigt. Die Schweiz hat sowohl personelle als auch finanzielle Ressourcen dafür zur Verfügung gestellt. Die IEA Roadmap wurde im Sommer 2011 publiziert [3].

International Partnership for Geothermal Technology IPGT [9]: Diese Partnerschaft wurde von den Gründerstaaten Australien, Island und der USA im August 2008 gegründet, im Oktober 2010 trat die Schweiz der Partnerschaft bei. Im Jahr 2011 schloss sich auch Neuseeland der IPGT an. Die IPGT basiert auf einem Staatsvertrag, der bezweckt gemeinsame spezifische F&E und Pilot- und Demonstrationsprojekte durchzuführen. Die Organisation bezweckt die Entwicklung der Tiefengeothermie voranzutreiben – insbesondere im EGS Bereich. Die Schwerpunkte, welche von 7 Working Groups bearbeitet werden, umfassen (1) kostengünstige Bohrtechnologien, (2) zonale Isolation und Packertechnologie, (3) Hochtemperatur-Messinstrumente, (4) Stimulationsmethoden, (5) numerische Simulationen, (6) Explorationstechnologien und (7) induzierte Seismizität. Für die Schweiz stehen im Lichte der Erfahrungen des Basler EGS Projektes die Stimulationsmethoden und die induzierte Seismizität im Vordergrund.

7. Rahmenprogramm der Europäischen Union – Geothermal ERA-NET [10]: Das EU-Projekt Geothermal ERA-NET bezweckt die Koordination und Zusammenarbeit der Forschungsprogrammleiter der europäischen Teilnehmerlän-

der (ISL, NL, F, D, CH, IT, HU, SK, TK) auf dem Gebiet der Geothermie-Forschung. Damit soll der Informationsaustausch und die Effizienz der Forschungsförderung verbessert werden. Zusammen mit anderen ERA-NET-Projekten soll die europaweite Energieforschung gemäss dem SET-Plan (European Strategic Energy Technology Plan) besser koordiniert werden. Ebenso ist eine enge Zusammenarbeit mit dem IEA-GIA sowie der IPGT vorgesehen. Das Projekt wurde 2012 gestartet und hat eine Dauer von 4 Jahren.

GeoMol [11]: Das transnationale Projekt GeoMol wird vom Alpenraumprogramm im Rahmen der Europäischen Territorialen Kooperation gefördert. Beteiligt sind die Länder Deutschland, Frankreich, Italien, Österreich, Slowenien und die Schweiz. Im Zeitraum von September 2012 bis Juni 2015 werden Grundlageninformationen über die geologischen Strukturen des Molassebeckens und Po-Beckens erarbeitet und bewertet. Ziel des Vorhabens ist es, bis in 5'000 m Tiefe dreidimensionale Untergrund-Informationen bereitzustellen. Die bis über 5000 m tiefen Molassebecken entlang der Ränder des Alpenbogens sind in weiten Bereichen sowohl für die geothermische Nutzung geeignet, als auch für die Speicherung von Erdgas oder Kohlendioxid. Die Nutzung dieser Geopotenziale steht zum Teil auch in Konkurrenz zur Öl- und Gasgewinnung. Deshalb erfordert die Bewertung von Geopotenzialen einen ganzheitlichen und transnationalen Ansatz. Neben dem BFE sind von Schweizer Seite die swisstopo sowie der Kanton Genf beteiligt.

EGS Pilotanlage in Soultz-sous-Forêts, France [7]: Das EGS-Projekt Soultz befindet sich seit 2010 in einer Produktions- und Testphase. Einerseits wird das Projekt von einem deutsch-französischen Industriekonsortium betrieben, andererseits haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Zugang durch ein wissenschaftliches Begleitprogramm. Dieses umfasst das Studium des Reservoirs während einer längerfristigen Zirkulation sowie die Untersuchung des Betriebsverhaltens der Untergrund- und Produktionsanlagen. Die schweizerischen Beiträge haben sich 2012 hauptsächlich auf die Arbeiten des Geothermielabors der Universität Neuenburg konzentriert, und dort insbesondere auf die numerische Simulation des Fliessverhaltens im Reservoir. Die Arbeiten der Schweizer Beteiligten wurden 2012 abgeschlossen, die Schlussberichte werden Anfang 2013 publiziert.

Referenzen

- [1] Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz FWS: www.fws.ch
- [2] Laboratoire de mécanique des sols, EPFL: <http://lms.epfl.ch/>, Understanding the Thermo-Mechanical Behaviour of Energy Piles, Laloui, Lyessé ; Di Donna, Alice, Civil Engineering, vol. 164, 2011
- [3] IEA Geothermal Roadmap: www.iea.org/papers/2011/Geothermal_Roadmap.pdf
- [4] Website der Firma Grob, Schlattigen: www.grob-gemuese.ch
- [5] Pilotprojekt St Gallen: www.geothermie.stadt.sg.ch/
- [6] Website des Projekts Geotherm an der ETHZ: www.cces.ethz.ch/projects/nature/geotherm
- [7] Website des EGS-Pilotprojekts Soultz-sous-Fôrets: www.geothermie-soultz.fr/
- [8] International Energy Agency, Implementing Agreement for a Co-operative Programme on Geothermal Energy Research and Technology: www.iea-gia.org
- [9] International Partnership for Geothermal Technology <http://internationalgeothermal.org>

- [10] Website des Projekts ERA-NET: www.geothermalera.net
- [11] Website des Projekts GeoMol: www.geomol.eu
- [12] Präsentation des ETH-Projekts «spallation drilling»: www.esc.ethz.ch/events/frontiers/121128_Schuler_FiER.pdf
- [13] Website des Projekts GeoBest des Schweiz. Erdbebendienstes: www.seismo.ethz.ch/research/groups/spec/projects/Project-GeoBest/index/
- [14] Website des Projekts GEISER: www.geiser-fp7.eu
- [15] Position des FKPE e.V. zur Induzierten Seismizität: www.gpi.kit.edu/downloads/fkpe_ueberw_ind_seis.pdf

Weitere Referenzen von allgemeinem Interesse (ohne Verweis):

[a] GEOTHERMIE.CH: www.geothermie.ch

[b] International Geothermal Association: www.geothermal-energy.org/

Laufende und im Berichtsjahr abgeschlossene Projekte

(* IEA-Klassifikation)

- CONSTRUCTIVE RECOMMENDATIONS FOR OPTIMIZED AND RELIABLE HEAT EXCHANGER PILE SYSTEMS**

Lead: EPFL/DGC/LMS, Ecublens

Contact: Laloui Lyessé lyessé.laloui@epfl.ch

Abstract: Heat exchanger piles are combining structural functions with energy management functions. They are used to heat or cool buildings. The objective of the project is to derive constructive recommendations for heat exchanger piles, based on a scientific knowledge of the interaction between the energy demand and the thermal behaviour of the soil taking into account the effects of temperature cycles applied to the pile/soil system.

R&D 3.5*

Funding: BFE

Period: 2010–2014
- GRETIL II : GEOTECHNICAL RELIABILITY OF THERMO-PILES ENERGY**

Lead: EPFL/DGC/LMS, Ecublens

Contact: Laloui Lyessé lyessé.laloui@epfl.ch

Abstract: Ziel des Projekts ist es, das Verhalten einer Gruppe von Energiepfählen unter einer Fundamentplatte zu untersuchen. Die Wechselwirkungen zwischen den Pfählen via die Fundamentplatte werden durch in situ-Messungen von Stress, Temperatur und Porendruck des Wassers bei unterschiedlichen thermischen Belastungen der Pfähle untersucht. Mit den Resultaten soll das Designtool Thermo-Pile weiterentwickelt werden.

R&D 3.5

Funding: BFE

Period: 2010–2013
- GEOTHERMAL RESERVOIR OF THE EGS PILOT PLANT AT SOULTZ-SOUS-FORÊTS (FRANCE): MONITORING OF THE EXPLOITATION AND PREDICTION OF ITS BEHAVIOUR**

Lead: Deep Heat Mining Association

Contact: Vuataz François-D. francois.vuataz@unine.ch

Abstract: The Soultz project of the European Union is the most advanced deep EGS project worldwide with regard to research and development. After 22 years of research, a pilot power plant was inaugurated in June 2008. Thanks to a careful monitoring of all reservoir parameters, the coming project phase will bring for the first time a wealth of data on the continuous production/injection exploitation of the EGS reservoir.

R&D 3.5

Funding: BFE

Period: 2007–2012

- **3D-RESERVOIRMODELL REGION BASEL FÜR EINE ENERGIE-RELEVANTE NUTZUNG (Z. B. GEOTHERMIE, CARBON STORAGE)** R&D 3.5
- Lead: Universität Basel Funding: BFE
- Contact: Huggenberger Peter peter.huggenberger@unibas.ch Period: 2009–2012
- Abstract: Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines geologischen 3D-Modells der Region Basel als neuartiges Werkzeug für die Tiefenreservoirbewirtschaftung und Raumplanung. Das Reservoirmodell kann als Planungsinstrument eingesetzt werden, z. B. zur Evaluierung geothermischer Verfahren (EGS, Doublette u.a.), sein. Es sollen sowohl Reservoirigenschaften, geothermisches Potential als auch etwaige Risiken aus dem Modell ableitbar sein.
- **GEOTHERM - GEOTH. RESERVOIR PROCESSES: RESEARCH TOWARDS THE CREATION AND SUSTAINABLE USE OF ENHANCED GEOTHERMAL SYSTEMS** R&D 3.5
- Lead: ETHZ Geologisches Inst. Funding: BFE
- Contact: Evans Keith Frederick keith.evans@erdw.ethz.ch Period: 2009–2012
- Abstract: A consortium of research groups lead by ETH-Z collaborate in a comprehensive program of basic research on key aspects of Enhanced Geothermal Systems (EGSs). Novel observation techniques and process-simulation tools will be developed, partly building on data provided by the industrial developers of the Basel Project. The overall aim of the project is to better understand the relevant processes and improve the predictability of EGS.
- **ERGÄNZUNGSLEISTUNGEN AM BOHRLOCH KGZ DAVOS** R&D 3.5
- Lead: Landschaft Davos Gemeinde Funding: BFE
- Contact: Calonder Gian-Paul gian-paul.calonder@davos.gr.ch Period: 2012–2013
- Abstract: Nach erfolgreichem Abschluss der Bohrung auf eine Tiefe von 400 m für die Wärmeversorgung des Kongresszentrums / Hallenbad Davos, werden mit Tests Bohrloch-Logs die hydraulischen und geothermischen Eigenschaften der Araser Dolomiten, dem Reservoir für die geothermische Nutzung des Davoser Kongresszentrum, bestimmt. Die Ergebnisse dienen der Auslegung der zukünftigen Nutzung und dienen dem Kanton als Grundlage für die Bewilligung.
- **OPTIMIERUNG VON ERDWÄRMESONDEN** R&D 3.5
- Lead: Zürcher Hochschule für angew. Wissenschaften, Wädenswil Funding: BFE
- Contact: Hubbuch Markus hubb@zhaw.ch Period: 2009–2014
- Abstract: Mit der Optimierung der Sondenbauweise soll eine deutliche Erhöhung der JAZ von Wärmepumpen mit Erdwärmesonden erreicht werden. Für die sichere Planung optimierter Anlagen werden die nötigen Grundlagen. Im zweiten Projektteil werden alternative Sondenfluide und -bauarten in Pilot- und Feldversuchen getestet und/oder demonstriert. Die Ergebnisse werden ausgewertet und den Nutzern über www.erdsondenoptimierung.ch/ zur Verfügung gestellt.
- **PILOTANLAGE ZUR ENTWICKLUNG VON TIEFENBOHR-VERFAHREN MITTELS HYDROTHERMALER FLAMME** P&D 3.5
- Lead: Institut für Verfahrenstechnik IPE, ETH Zürich Funding: BFE
- Contact: Rudolf von Rohr Philipp vonrohr@ipe.mavt.ethz.ch Period: 2009–2012
- Abstract: Das Projekt will die Machbarkeit des Bohrverfahrens „thermal spallation drilling“ im überkritischen Bereich anhand einer Pilotanlage zu demonstrieren und die wichtigen Parameter für das «upscaling» in Feldversuche bestimmen. Im Weiteren sollen die Wirtschaftlichkeit der Technologie im Vergleich zur konventionellen Bohrtechnologie untersucht und erste Schritte für die kommerzielle Umsetzung unternommen werden.
- **UTILISATION DE GÉOTHERMIE PROFONDE POUR LE CHAUFFAGE DE GRANDS BÂTIMENTS AVEC DES POMPES À CHALEUR À TRÈS HAUTE PERFORMANCE** R&D 3.5
- Lead: Planair SA, La Sagne Funding: BFE
- Contact: Rognon Fabrice fabrice.rognon@planair.ch Period: 2009–2012
- Abstract: Le but consiste à définir les techniques pour utiliser les ressources géothermiques dans la tranche de profondeur de 300 à 800 mètres pour des bâtiments de puissance thermique à partir de 100kW environ. Actuellement, pour ces bâtiments, la source de chaleur est généralement un champ de sondes géothermiques verticales classiques ce qui pose plusieurs problèmes : le besoin de place, les coûts de raccordements et les délais de réalisation.
- **GRUNDLAGENSTUDIE ZUR ERSTELLUNG EINER GEOTECHNISCHEN WEGLEITUNG FÜR EWSBOHRUNGEN MIT POTENZIELL GIPS- UND ANHYDRITHALTIGEN GESTEINEN** R&D 3.5
- Lead: Eberhard & Partner Funding: BFE
- Contact: Oliver Sachs sachs@eberhard-partner.ch Period: 2012
- Abstract: In der Stadt Staufen i. Br. (Deutschland) führten EWS-Bohrungen zu Hebungsschäden an Gebäuden. Ziel der Studie ist die Erarbeitung einer sicheren Vorgehensweise für EWS-Bohrungen in Gebieten mit potenziell gips- und anhydrithaltigen Gesteinsschichten. Es sollen Massnahmen für die Erstellung von EWS in sulfathaltigen Gesteinsschichten aufgezeigt und daraus resultierend eine Wegleitung erstellt werden.

- **SPALLATION BOHREN: WECHSELWIRKUNG GESTEIN-FLAMME** P&D 3.5
- Lead: ETHZ Funding: BFE
- Contact: Rudolf von Rohr Philipp vonrohr@ipe.mavt.ethz.ch Period: 2011–2014
- Abstract: Das Verhalten einer Flamme beim Auftreffen auf kristallines Gestein soll untersucht werden im Hinblick auf die Verwendung als Bohrsystem insbesondere für geothermische Anwendungen. Die Besonderheit besteht darin, dass die Flamme bei Drücken oberhalb 221 bar brennt. Dabei werden dabei folgende Parameter speziell untersucht: Temperatur, Wärmemenge und Einfluss auf Partikelgrösse, Abtransport und Kontrolle der heissen Zone.
- **GEOOTHERMIE-BOHRUNG SCHLATTINGEN 2** P&D 3.5
- Lead: Grob Gemüse- und Landbau Funding: BFE
- Contact: Hansjörg Grob info@grob-gemuese.ch Period: 2012–2014
- Abstract: Mit der Geothermiebohrung Schlattingen 1 konnte nach der Anlage in Riehen wieder ein Wärmeprojekt zum Erfolg geführt werden. Der innovative Ansatz für die zweite Bohrung ist wegweisend für weitere Projekte wie z. B. St. Gallen und Lavey-les-Bains. Ebenfalls werden wertvolle Daten gesammelt, welche z. B. in das intern. Projekt GEOMOL einfließen werden. Das Projekt wird auch einen Beitrag zur Entwicklung nachhaltiger Landwirtschaft leisten.
- **GEOSIM: METHODEN UND SOFTWARETOOLS ZUR ECHTZEITBEURTEILUNG DES SEISMISCHEN RISIKOS VON GEOOTHERMIEPROJEKTEN IM RAHMEN DER UMWELTVERTRÄGLICHKEITSPRÜFUNG** R&D 3.5
- Lead: ETHZ Schweizerischer Erdbebendienst SED Funding: BFE
- Contact: Stefan Wiemer stefan.wiemer@sed.ethz.ch Period: 2012 - 2015
- Abstract: Das Potential der Tiefengeothermie ist mit bis zu 30% des schweizerischen Strombedarfs enorm. Um dieses Potential mittelfristig nutzen zu können ist es zwingend notwendig, das durch induzierte Erdbeben verursachte seismische Risiko abschätzen zu können. Das Projekt GEOSIM entwickelt dazu die wissenschaftliche Methodik, die Algorithmen und Softwaretools um die ab dem Jahr 2014 von der Industrie geplanten Pilotprojekten realisieren zu können.
- **ÜBERSICHTSNOTIZ ZUM THEMA PLANUNG DES UNTERGRUNDS UND GEOOTHERMIE** R&D 3.5
- Lead: Nägeli Energie Sàrl Funding: BFE
- Contact: Roman Naegeli roman.naegeli@naegeli-energie.ch Period: 2012
- Abstract: Die Studie untersucht die aktuelle Situation betreffend Planung des Untergrunds, insbesondere in Zusammenhang mit der Geothermie. Sie soll aufzeigen, welche Akteure sich mit der Planung des Untergrunds beschäftigen und welche Aktivitäten diesbezüglich im Gange sind. Weiter soll es anhand verschiedener Varianten aufzeigen, wie sich das BFE in Bezug auf die Planung im Untergrund, insbesondere betreffend der Geothermie, positionieren kann.
- **GÉOTHERMIE PROFONDE - NÉCESSITÉ D'AGIR POUR L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE** R&D 3.5
- Lead: Naegeli Energie, Lausanne; Schenker Korner & Partner GmbH, Luzern; Prof. Poltier, EPFL Funding: BFE
- Contact: Roman Naegeli roman.naegeli@naegeli-energie.ch Period: 2012
- Abstract: L'objectif de l'étude peut être résumé en deux parties: 1) Identification et analyse des enjeux et problèmes en matière d'aménagement du territoire liés au développement de la géothermie profonde, et en particulier aux projets destinés à la production d'électricité, et 2) Identification des besoins d'actions et des instruments à utiliser ou à mettre en place afin de faciliter le développement de la géothermie profonde.
- **GEOMOL CH GEOLOGISCHES 3D-MODELL DES SCHWEIZERISCHEN MOLASSEBECKENS** R&D 3.5
- Lead: swisstopo Funding: BFE
- Contact: Roland Baumberger roland.baumberger@swisstopo.ch Period: 2012 - 2015
- Abstract: Das Projekt GeoMol CH bezweckt, geologische Grundlagen zu wichtigen Fragen zu erarbeiten: Energienutzung, 3D-Raumplanung, Abfalllagerung, Ressourcenmanagement. Folgende Hauptziele werden mit dem Projekt verfolgt: Erstellen einer dreidimensionalen Datenbasis zum Molassebecken, Vereinfachung administrativer Abläufe (Informations- und Bewilligungsverfahren) und Aufarbeitung bereits bestehender Grundlagedaten (Bohrdaten, seismische Linien etc.)
- **ENERGIE AUS DEM INNEM DER ERDE: TIEFENGEOOTHERMIE ALS ENERGIETRÄGER DER ZUKUNFT?** R&D 3.5
- Lead: TA-Swiss Funding: BFE
- Contact: Emiliano Feresin emiliano.feresin@ta-swiss.ch Period: 2012 - 2014
- Abstract: Die interdisziplinäre Studie soll die zukünftigen Perspektiven (Chancen und Risiken) der Tiefengeothermie als Energiequelle aufzeigen. Vorgesehen ist eine umfassende Abklärung, die sowohl technische als auch wirtschaftliche, gesellschaftliche und rechtliche Aspekte der Tiefengeothermie berücksichtigt, unter Berücksichtigung der energiepolitischen Strategie des Bundes und der zu erwartenden politische Diskussion.



Robert Horbaty

Windenergie



Die Windenergieanlagen in St. Brais (2 MW, Rotordurchmesser 82 m)

An diesen beiden Windenergieanlagen werden die Auswirkungen der Vereisung auf das Betriebsverhalten und den Energieertrag von Windkraftanlagen im Jurabogen untersucht (Foto: ADEV Windkraft AG).

Einleitung

2012 wurden weltweit Windenergieanlagen mit einer Leistung von 44,7 GW installiert, was gegenüber dem Vorjahr einem Wachstum von 10 % entspricht. Während der Markt in Asien gegenüber 2011 zurückgegangen ist, konnte in Nordamerika und in Europa ein starkes Wachstum verzeichnet werden, sodass 2012 in Asien, Nordamerika und Europa nahezu die gleiche Leistung zugebaut wurde [1]. Während der Offshore-Markt weiterhin noch relativ langsam wächst, ist in Europa ein Trend in Richtung Binnenland zu verzeichnen. So stieg die installierte Leistung z. B. in Österreich um 27 % (296 MW) [2] und im Bundesland Bayern um 29 % (200 MW) [3].

In der Schweiz ist die Situation der Windenergie geprägt von einer grossen Anzahl an Projekten und einer nach wie vor geringen Anzahl an Realisierungen. Ende 2012 waren Projekte mit einer Leistung von rund 1'800 MW bei der kostendeckenden Einspeisevergütung angemeldet. Dagegen sind 2012 wiederum nur zwei Anlagen mit einer Leistung von zusammen 3,9 MW in Betrieb gegangen. Die 30 Grossanlagen, welche 2012 ganzjährig in Betrieb gestanden sind, erreichten im Berichtsjahr einen Kapazitätsfaktor von 21,6 % respektive knapp 1'900 Vollbetriebsstunden [4].

Die langwierigen Planungs- und Bewilligungsverfahren in der föderalistischen Schweiz sind die Hauptursache für den bisher sehr schleppenden Zubau. Mit der Energiestrategie 2050 hat der Bundesrat dafür wichtige Massnahmen vorgeschlagen. Darüber hinaus stellen die folgenden Faktoren eine besondere Herausforderung für die Nutzung der Windenergie in der Schweiz dar:

- Geringe Erfahrung betreffend Standortbewilligungen, Akzeptanz und Umweltauswirkungen von Windenergieanlagen
- Turbulente Windverhältnisse im komplexen Gelände, was einen hohen Aufwand bei Standortabklärungen erfordert, insbesondere auch in höheren Lagen im Gebirge
- Harsche klimatische Verhältnisse können Vereisung von Rotorblättern verursachen, was zu einem reduziertem Energieertrag führt.

Das Forschungsprogramm *Windenergie* des Bundes konzentriert deshalb die limitierten Mittel auf diese Bereiche, nicht zuletzt weil hier auch im internationalen Vergleich substantielles Know-how erarbeitet werden kann. Entsprechende Projekte werden durch Forschungsinstitutionen (z. B. ETHZ, EPFL oder ZHAW) oder von anderen Institutionen (z. B. MeteoSchweiz oder Vogelwarte SEMPach) oder von privaten Unternehmen (z. B. New Energy Scout) mit hoher fachlicher Kompetenz bearbeitet.

Durch die Entwicklung von sogenannten Binnenlandanlagen, welche für mittlere Windverhältnisse optimiert sind, können heute auch in der Schweiz wesentlich höhere Erträge erzielt werden. Dies bedeutet einerseits, dass das Potenzial der Windenergie in der Schweiz deutlich höher eingeschätzt und andererseits, dass mit Hilfe des Forschungsprogramms Know-how erarbeitet werden kann, welches zunehmend auch für andere Regionen interessant wird.

IEA Klassifikation: 3.2 Wind Energy

Schweizer Klassifikation: 2.6 Windenergie

Programmschwerpunkte

Basierend auf dem Konzept des Energieforschungsprogramms *Windenergie* aus dem Jahre 2008 [5] lauteten die Forschungsschwerpunkte im Berichtsjahr wie folgt:

- Entwickeln von Anlagekomponenten für die Nutzung von Windenergie unter spezifisch schweizerischen Verhältnissen durch die einheimische Industrie, wie z. B. Reduktion der Lasten mit neuen Werkstoffen, Erhöhung des Energieertrags bei tiefen Windgeschwindigkeiten und Einsatz der Nanotechnologie gegen Verschmutzung und Vereisung.
- Erhöhung der Verfügbarkeit und des Energieertrages von Windkraftanlagen an extremen Standorten durch Erarbeiten von Planungs-Know-how für komplexe Terrains, Tests an extremen Standorten durch Auswertung von Betriebserfahrungen und durch Erarbeiten von Empfehlungen.
- Erhöhung des «Wertes» der Windenergie, Optimierung der Integration von Windkraftanlagen in die Stromversorgung durch Fore- und Nowcasting der Energieproduktion aus Wind, durch Netzregulierung mit hohem Anteil an Windenergie und durch Optimierung der Bedingungen für intermittierende Produktionsanlagen im Netz.
- Erhöhung der Akzeptanz für Windenergie unter Einbezug sozial- und umweltwissenschaftlicher Kompetenz, z. B. mit Ermitteln von Erfolgsfaktoren und -strategien.
- Ergänzend wird mit Pilot- und Demonstrationsprojekten die Lücke zwischen den eigentlichen Forschungsaktivitäten und der Anwendung in der Praxis geschlossen.

Rückblick und Bewertung 2012

Im Berichtsjahr konnten vor allem in den Bereichen Ertragsoptimierung und Akzeptanz vielversprechende Ergebnisse erzielt werden, welche national und international auf ein äusserst erfreuliches Interesse gestossen sind. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass obwohl die Schweiz über keine grossen Anlagenhersteller verfügt, Schweizer Know-how im Windenergie-Weltmarkt durchaus gefragt ist. Für eine nachhaltige Entwicklung der Windenergie in der Schweiz bieten die Erkenntnisse im Bereich der Akzeptanz eine wesentliche Grundlage.

Ausblick

Das Forschungsprogramm *Windenergie* wird sich künftig auf zwei Zielsetzungen konzentrieren. Zum einen soll es dazu beitragen, dass das in der Schweiz vorhandene Potenzial der Windenergie im Rahmen der Energiestrategie 2050 genutzt werden kann. Zum anderen soll die Beteiligung der Schweizer Industrie am Weltmarkt Windenergie weiter erhöht werden.

Basierend auf diesen Zielsetzungen und einem mit interessierten Forschungsinstitutionen und Mitgliedern des Firmenbeirats von Suisse Eole durchgeführten Workshop wurden für das Konzept 2013–2016 des Forschungsprogramms *Windenergie* [6] folgende neuen Schwerpunkte festgelegt:

- Grundlagen für effiziente Planungs- und Bewilligungsverfahren: Erarbeitung von Grundlagen und innovativen Lösungsansätzen in den Bereichen Akzeptanz sowie Auswirkungen auf die Fauna;

- Ertragsoptimierung an Standorten mit komplexer Topografie: Optimierung des Anlagenenertrags an typischen Schweizer Standorten, um die Wirtschaftlichkeit zu optimieren und die Standorte optimal zu nutzen;
- Innovative Anlagekomponenten: Entwicklung von innovativen Anlagekomponenten durch Vernetzung der Schweizer Zulieferindustrie mit Schweizer Forschungsinstitutionen.

Highlights aus Forschung und Entwicklung

Akzeptanz von Windkraftprojekten

Gesellschaftliche Akzeptanz ist ein zentraler Erfolgsfaktor, um den Ausbau der Windenergie im für die Energiestrategie 2050 erforderlichen Ausmass umsetzen zu können. Mit einer vom Lehrstuhl Sozialpsychologie der Universität Zürich durchgeführten Studie wurden projekt- und personenbezogene Einflussfaktoren auf die lokale Akzeptanz von Windkraftprojekten analysiert. Mittels eines experimentellen Designs wurde die Akzeptanz verschiedener möglicher Windkraftprojekte in fünf Schweizer Gemeinden untersucht, in denen potenzielle Windkraftstandorte, aber noch keine Windkraftanlagen existieren. Allen 4'400 Haushalten in den Erhebungsregionen wurde ein Fragebogen zugesandt, der verschiedene Skalen zur Einstellung zu Windkraft sowie die Beschreibung dreier möglicher Windkraftprojekte enthielt (Vignetten). Insgesamt 951 ausgefüllte Fragebogen sind eingegangen; was einer Rücklaufquote von 21,6 % entspricht und ca. 11 % aller volljähri-

gen Einwohner in den Untersuchungsgemeinden abdeckt. Auch wenn die Stichprobe nicht repräsentativ für die Schweizer Bevölkerung ist, lassen sich tendenzielle Aussagen über die lokale Akzeptanz von Windkraftprojekten ableiten.

Der Ausgang einer Abstimmung unter den Einwohnern zu lokalen Windkraftprojekten hat einen signifikanten Einfluss auf die lokale Akzeptanz. Windkraftprojekte, welche von einem bekannten Schweizer Projektentwickler mit hoher Kompetenz im Bereich Windkraft durchgeführt wurden, verfügen über eine höhere lokale Akzeptanz als Windkraftprojekte, welche von einem unbekannten Projektentwickler im Auftrag einer Zürcher Fondsgesellschaft durchgeführt werden. Den grössten Einfluss hat der mit dem Windkraftprojekt assoziierte regionale Nutzen: Projekte mit finanziellen Beteiligungsmöglichkeiten für die Einwohner oder mit einem kommunalen Fonds, der sich aus den Einnahmen des Windkraftprojekts speist, werden deutlich positiver wahrgenommen als Projek-

te, bei denen Pachtzahlungen an Landwirte der einzige regionale Nutzen sind.

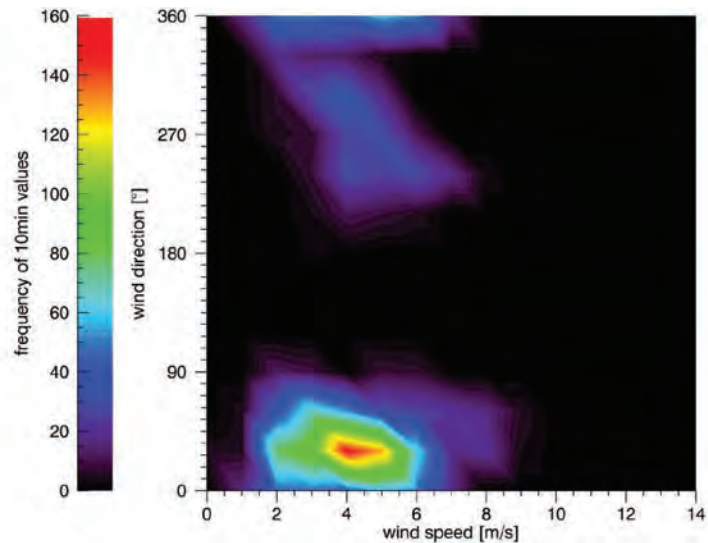
12 % der Befragten lehnen alle dargebotenen Windkraftprojekte ab und 42 % der Befragten befürworten alle dargebotenen Windkraftprojekte. Für diese beiden Gruppen haben Einstellungen zu Kosten und Nutzen von Windkraft einen höheren Einfluss auf die lokale Akzeptanz als Projekt- und Verfahrensparameter spezifischer Windkraftprojekte. Personen, welche alle Windkraftprojekte ablehnen, verfügen über eine höhere Bereitschaft, sich aktiv am Planungsprozess zu beteiligen und messen Politik und involvierten Unternehmen eine sehr geringe Bedeutung bei. Personen, welche alle Windkraftprojekte befürworten, stellten hohe Ansprüche an Windkraftprojekte, besonders in Hinblick auf Prozessgerechtigkeit, assoziierte Kosten für Mensch und Umwelt und regionalen Nutzen. Ihre Akzeptanz für spezifische Windkraftprojekte kann deswegen nicht zwingend vorausgesetzt werden. Die Forschungsergebnisse sind ein deutliches Indiz dafür, dass die Schweizer Bevölkerung dem



Figur 1: Installierte Kameras und IR-Scheinwerfer auf der Gondel der Windenergieanlagen in St. Brais. Links: auf das Rotorblatt gerichtete Kamera. Rechts: auf die Sensoren gerichtete Kamera.

Ausbau der Windkraft tendenziell positiv gegenübersteht. Gemeinden und Projektentwickler haben die Möglichkeit, Windkraftprojekte so zu gestalten, dass sie von einer grossen Mehrheit der Bevölkerung akzeptiert werden. Bund und Kantone können den richtigen Rahmen setzen, um die Realisierung akzeptierter Windkraftprojekte zu vereinfachen.

Die Ergebnisse des Forschungsprojekts wurden im Firmenbeirat von Suisse Eole präsentiert und sind bei den Projektentwicklern und Gemeinden auf grosses Interesse gestossen. Sie werden 2013 auch im Rahmen des Task 28 «Social Acceptance of Wind Energy Projects» des IEA Implementing Agreement Wind präsentiert werden.



Figur 2: Häufigkeitsverteilung der meteorologischen Vereisung in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit und der Windrichtung (Winter 2009/2010).

Messung der Nachlaufströmung von Windturbinen

Um das Design und den Betrieb von Windparks zu optimieren, ist ein vertieftes Verständnis der Nachlaufströmung von Windenergieanlagen nötig. Die im Rotornachlauf erzeugten Turbulenzen führen zu Ertragsseinbussen und zu einer erhöhten Belastung der betroffenen Windenergieanlagen. Die bisher verwendeten Modelle bilden die Realität nur relativ grob ab, sodass noch ein bedeutendes Optimierungspotenzial besteht. So werden zum Beispiel die Ertragsseinbussen in einem Windpark bisher mit einfachen linearen Modellen beschrieben.

Für die Entwicklung von numerischen Modellen, welche die Auswirkungen der Nachlaufströmung von Windkraftanlagen genauer berechnen können, sind experimentelle Daten unabdingbar. Da die Aussagekraft von Messungen an Modellen im Windkanal begrenzt ist, sind Messungen an realen Anlagen von besonderer Bedeutung. Diese stellen aber wiederum durch die grossen Messvolumina sowie die nicht-stationäre, inhomogene Windströmung eine besondere Herausforderung dar. Bisher wurden Windmessungen an Windenergieanlagen primär mit mastbasierten Anemometern und Windfahnen durchgeführt. Mit modernen LIDAR-Windmessgeräten, welche die Windgeschwindigkeit berührungslos bis in mehrere Tausend Meter

Distanz erfassen können, sind heute wesentlich verbesserte Mittel verfügbar, um die Nachlaufströmung zu erfassen.

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden vom Wind Engineering and Renewable Energy Laboratory der EPFL umfangreiche Feldmessungen der Nachlaufströmung der Windenergieanlage in Collonges (Modell Enercon E-70 mit 2 MW installierter Leistung) durchgeführt, wobei bis zu drei LIDAR-Messgeräte gleichzeitig eingesetzt worden sind. Die im Rahmen des Projektes eingesetzten LIDAR-Geräte ermöglichen eine hohe räumliche Auflösung von 18 m, womit die Nachlaufströmung detailliert charakterisiert werden kann. Position und die Richtung des Lasermessstrahls wurden mit GPS-basierter Technik bestimmt. Im Rahmen der Messungen wurde in einem ersten Schritt die vertikale Symmetrieebene des Nachlaufs mit einem einzelnen LIDAR's gescannt, womit ein zweidimensionales Messfeld erfasst wurde. Das axiale Geschwindigkeitsfeld wurde dann durch Mittelung von 2D-Scans ermittelt, welche nacheinander durchgeführt wurden. Um die Turbulenzen im Nachlauf zu untersuchen, wurden einzelne LIDAR-Messungen mit fixem Laserstrahl und maximaler Abtastfrequenz durchgeführt. Mit diesen Messungen wurden Turbulenzspitzen im Nachlauf erkannt, welche in einem Windpark problematische Ermüdungslasten für

nachgeschaltete Turbinen darstellen können. Anschliessend wurden mit zwei gleichzeitigen eingesetzten LIDAR-Geräten Messungen durchgeführt, um sowohl die axiale, als auch die vertikalen Geschwindigkeitskomponenten zu charakterisieren. Für diesen Aufbau wurden die beiden Geschwindigkeitskomponenten nur für Messpunkte ermittelt, bei welchen sich die beiden Laserstrahlen nahezu im rechten Winkel kreuzten. Statistische Auswertungen, gerechnet über beide Geschwindigkeitskomponenten, zeigen starke Schwankungen der Strömung mit Turbulenzintensitäten von etwa 30 % im Bereich hinter der obersten Blattspitze bis zu einer Distanz des dreifachen Rotordurchmessers.

Erste Resultate des Projekts wurden am jährlichen WAKEBENCH Forschungskolloquium präsentiert, welches im November 2012 im National Renewable Energy Lab (NREL) in Denver, USA stattgefunden hat.

Derzeit sind gleichzeitige Messungen mit drei LIDAR-Geräten im Gange, um drei Geschwindigkeitskomponenten zu analysieren. Anschliessende Messkampagnen werden den Einfluss der Topographie und die Wechselwirkungen innerhalb eines Windparks untersuchen, wobei Messungen an den Standorten Martigny, Peuchapatte und Cobauw (Holland) geplant sind.

Pilot- und Demonstrationsprojekte

Vereisung der Windenergieanlage St. Brais

An den beiden Windenergieanlagen der ADEV Windkraft AG in St. Brais untersucht Meteotest die Auswirkungen der Vereisung auf das Betriebsverhalten und den Energieertrag von Windkraftanlagen im Jurabogen. Während der Winter zwischen 2009 und 2012 wurde eine Häufigkeit der meteorologischen Vereisung von 4 bis 11 Tagen festgestellt. Für die instrumentelle Vereisung wurden Werte zwischen 19 und 42 Tagen bestimmt. Das Verhältnis zwischen meteorologischer und instrumenteller Vereisung war mit 3,4 bis 4,7 einigermaßen konstant. Im Vergleich dazu wurden auf dem Gütsch 5 Tage meteorologische Vereisung, 28 Tage instrumentelle Vereisung und ein Verhältnis von 5,2 bestimmt. Es zeigte sich, dass unter Einbezug von Windgeschwindigkeit und -richtung die Trefferquote für die Eiserkennung basierend auf meteorologischen Daten stark verbessert werden kann. Zudem war eine grosse Variabilität der Vereisung für die untersuchten Winter erkennbar.

Die Analyse der von Enercon serienmässig eingesetzten Eiserkennung der (Windenergieanlage) WEA zeigte, dass ausser einem ersten Ereignis Ende November/Anfang Dezember 2009 jedes der Ereignisse von der WEA korrekt erkannt wurde. Dieses Ereignis fand kurz nach der Inbetriebnahme der Anlagen statt, möglicherweise war die Kalibration der Eiserkennung über die Leistungskurve zu diesem Zeitpunkt noch nicht abgeschlossen.

Der Einsatz der Blattheizung führte am Standort zu einer signifikant erhöhten Jahresproduktion. Der Produktionsverlust einer WEA ohne Blattheizung wurde mit ca. 10 % der Jahresproduktion beziffert. Dank der Blattheizung konnte mit Heizen im Stillstand der Verlust auf etwa 3 % reduziert werden. Dabei wurden ca. 0,5 % der Jahresproduktion als Heizleistung eingesetzt. Diese Verluste wurden experimentell bestätigt. Heizen im Betrieb hat ein grosses Potenzial, diese Verluste weiter zu minimieren. Möglicherweise besteht ein Verbesserungspotenzial bei der Heizungssteuerung im Betrieb, insbesondere bei der Bestimmung des Heiz-Endes. Allenfalls kann hier die relative Feuchte wichtige Zusatzinformationen liefern. Ein Test mit präventivem Heizen basierend auf Temperatur und relativer Feuchte brachte nicht die gewünschten Resultate, da die WEA nicht optimal konfiguriert war.

Die Resultate des Moog/Insensys Rotor Monitoring Systems in Bezug auf Eisdetektion sind grundsätzlich positiv. Es wurde jedoch deutlich, dass ein Einsatz des Systems ohne Zugang zu den Betriebsdaten der WEA nur bedingt möglich ist. Von Seiten Enercon besteht zurzeit kein Interesse an der Implementierung des Moog/Insensys Systems in die Betriebssteuerung.

Die Durchführung und Auswertung der Schallmessung erwies sich als schwierig, da eine Schallmessung unter vereisenden Bedingungen als solches schwierig zu bewerkstelligen ist. Tendenziell konnte eine Erhöhung des Lärmpegels

unter vereisenden Bedingungen vermutet werden. Insbesondere interessant sind Indizien, welche auf erhöhte Lärmimmissionen einer stehenden vereisten Anlage hindeuten. Die Eiswaufstudie des Winters 2011/12 brachte nicht die gewünschten Resultate, da sehr wenig Vereisung auftrat und die Protokollierungen nicht sehr detailliert durchgeführt wurden. Die Studie wird deshalb im Winter 2012/13 wiederholt, wobei auch die Vereisungshäufigkeit ausgewertet wird, um so weitere Hinweise auf die jährliche Variabilität der Vereisung am Standort zu erhalten.

Die von Meteotest in Aurich präsentierten Ergebnisse des Projektes sind in den Bereichen Forschung und Entwicklung, technische Dokumentation, Vertrieb und Site Assessment der Firma Enercon auf grosses Interesse gestossen. Als Folge wird Meteotest eine europäische Messkampagne für Enercon starten. Ein gutes Beispiel für den Export von schweizerischem Know-how im Bereich der erneuerbaren Energien.

Die Arbeiten des Projekts fügen sich zudem bestens in den internationalen Kontext ein. Insbesondere können damit die Hauptziele der beantragten Verlängerung des IEA Task 19 (Wind Energy in Cold Climate) relativ breit abgedeckt werden.

Nationale Zusammenarbeit

An regelmässigen Treffen des Programmleiters mit dem CORE-Paten, der BFE-Bereichsleiterin, dem Verantwortlichen beim BFE für Marktentwicklung, sowie dem Geschäftsführer der Schweizerischen Windenergievereinigung «Suisse Eole» wird die Entwicklung des Programms mit den Zielen der CORE und den Anliegen von Energie-Schweiz abgestimmt. Im Rahmen des Firmenbeirates von Suisse Eole können Aspekte des Forschungsprogramms mit der Windenergiebranche diskutiert und abgestimmt werden. Es bestehen Kooperationen mit anderen BFE-Forschungsprogrammen, insbesondere mit den Programmen

Elektrizitätstechnologien und -anwendungen und Energie-Wirtschaft-Gesellschaft.

Der Dreh- und Angelpunkt für die Förderung der Windenergie in der Schweiz ist Suisse Eole, die Schweizerische Vereinigung zur Nutzung der Windenergie [12]. Sämtliche Planungsinstrumente, insbesondere ein Map-Server mit allen relevanten Aussagen zu möglichen Windenergiestandorten sind auf der Website von Suisse Eole vorhanden. Hier werden auch für die Praxis wichtige Forschungsergebnisse integriert, wie zum Beispiel die Vereisungskarte.

Internationale Zusammenarbeit

Die internationale Zusammenarbeit findet v.a. im Rahmen des IEA Implementing Agreement Wind statt [16]:

Task 11: Base Technology Information Exchange: Regelmässige Expertentreffen zu diversen Themen aus dem Bereich der Windenergieforschung. Die Teilnahme steht allen Interessenten aus der Schweiz offen und ist gratis, Reisekosten und Spesen können aber aus Budgetgründen nicht finanziert werden (www.ieawind.org/task_11/task_11_homepage.html).

Task 19: Wind Energy in Cold Climate: Seit 2002 beteiligt sich die Schweiz am IEA-Projekt Wind Energy in Cold Climates (WECO). 2012 wurden ein Meeting des IEA Task 19 durchgeführt (Februar 2011: Skelleftea, Schweden) und die bisherigen Ergebnisse im Rahmen von zwei Berichten dokumentiert (Best Practice Report und State-of-the-Art Report). Die Schweiz arbeitet massgebend am Task 19 mit und ist mit René Cattin, Meteotest im Gremium vertreten (<http://arcticwind.vtt.fi>).

Task 26: Cost of Wind Energy: Expertentreffen zum Thema Kosten der Elektrizität aus Windenergie. Da dies einen zentralen Zusammenhang mit der KEV (Kostendeckende Einspeisevergütung) hat, nimmt der Verantwortliche beim BFE für Marktentwicklung, Markus Geissmann, daran teil (www.ieawind.org/task_26.html).

Task 28: Social Acceptance of Wind Energy Projects: Der Task 28 wurde 2009 auf Initiative der Schweiz lanciert und geht 2012 in eine zweite dreijährige Phase. Operating Agent ist Robert Horbaty, bis März 2013 Programmleiter des Forschungsprogramms *Windenergie*. 2012 wurde der Schlussbericht der ersten Phase veröffentlicht sowie verschiedene Publikationen, u. a. im WIRE Energy and Environment (www.socialacceptance.ch). Die «Recommended Practices on Social Acceptance of Wind Energy» werden Anfang 2013 nach Annahme durch die IEA Wind veröffentlicht. Es fanden zwei Treffen statt, einerseits ein «Topical Expert Meeting» zusammen mit Task 11, welches vom 14.-16. Juni in Biel stattfand und auch eine gemeinsame Veranstaltung mit dem Firmenbeirat von Suisse Eole umfasste. Andererseits wurde im Dezember 2012 ein Webmeeting durchgeführt (www.ieawind.org/Summary_Page_28.html).

Task 31: Wakebench: Mit dem Task 31 sollen best-practice Empfehlungen zur Modellierung der Strömung in Windparks erarbeitet werden. 2012 fand ein Meeting im November in Boulder, Colorado statt. Die Schweiz ist durch Prof. Porte-Agel des Wind Engineering and Renewable Energy Laboratory der EPFL am Task vertreten.

Referenzen

[1] Global Wind Energy Council: *Solid Growth in 2012*, Pressemitteilung vom 11.2.2012

[2] European Wind Energy Association: *Wind in power - 2012 European statistics*, Februar 2013

[3] Deutsche WindGuard: *Status des Windenergieausbaus in Deutschland*, Januar 2013

[4] Schweizerische Vereinigung für Windenergie www.wind-energie.ch

[5] Horbaty: *Konzept des Energieforschungsprogramms Windenergie für die Jahre 2008 – 2011*,

www.bfe.admin.ch/forschungwindenergie/index.html?lang=de&dossier_id=01157

[6] Horbaty/Rigassi: *Forschungsprogramm Windenergie - Konzept 2013 – 2016*

www.bfe.admin.ch/forschungwindenergie/index.html?lang=de&dossier_id=02869

[7] EPFL Lausanne, Wind Engineering and Renewable Energy Laboratory WIRE: <http://wire.epfl.ch/page-6109.html>

[8] ETH Zürich, Laboratory for Energy Conversion, www.lec.ethz.ch.

[9] ZHAW, Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften, Winterthur, Martina Hirayama (martina.hirayama@zhaw.ch), www.zhaw.ch

[10] Haute Ecole Arc Ingénierie in Neuchâtel, Laboratoire de Microstructuration et Optoélectronique LMSO und Laboratoire de Machines – Outils et Fabrication assistée par ordinateur LMO: KitVes, www.kitves.com

[11] Fachhochschule Nordwestschweiz in Windisch, Institut für Aerosol- und Sensortechnik (IAST), Empa, ETH und EPFL: Swiss-KitePower, www.swisskitepower.ch

[12] Schweizerische Vereinigung für Windenergie, Suisse Eole: www.wind-energie.ch und www.wind-data.ch

[13] Patricia Weis-Taylor: *IEA-Implementing Agreement on Wind Energy Research and Development*, www.ieawind.org

Laufende und im Berichtsjahr abgeschlossene Projekte

(* IEA-Klassifikation)

- SITING OF WIND TURBINES IN COMPLEX TERRAIN – EFFECTS OF INCLINED FREESTREAM FLOW AND ELEVATED FREESTREAM TURBULENCE**

Lead: **ETH Zürich**

Contact: **Ndaona Chokani** chokani@lec.mavt.ethz.ch

Abstract: The specific objectives of this project are to quantify the effects of inclined freestream flow and elevated freestream turbulence levels on the performance of wind turbines to quantify the uncertainty in the predicted performance of a wind turbine that is sited in complex terrain to provide guidelines for the siting of wind turbines in complex terrain, specifically in Switzerland.

R&D 3.2*

Funding: BFE	
Period: 2011–2013	
- FIELD MEASUREMENTS OF WIND TURBINE WAKE**

Lead: **EPF Lausanne**

Contact: **Fernando Porté-Agel** fernando.porte-agel@epfl.ch

Abstract: Field measurements around real wind turbines are essential for an optimal design of windparks, despite their scarcity due to the challenges of measuring the wind in the large volumes. Wind measurements will be performed with 3 LiDARs in order to characterize wind turbine wake flows. Then interaction between wakes will be investigated to optimize power production.

R&D 3.2

Funding: BFE	
Period: 2012–2014	
- HIGH POWER, HIGH RELIABILITY OFFSHORE WIND TECHNOLOGY (HIPRWIND)**

Lead: **ABB Schweiz**

Contact: **Aperldoorn Oscar** oscar.apeldoorn@ch.abb.com

Abstract: The aim of the HIPRWIND project is to develop and test new solutions for very large offshore wind turbines at an industrial scale. The project addresses critical issues of offshore WT technology such as extreme reliability, remote maintenance and grid integration with particular emphasis on floating wind turbines, where weight and size limitations of onshore designs can be overcome.

R&D 3.2

Funding: FP7	
Period: 2010 - 2016	
- WINDKANALVERSUCHSAUFBAU FÜR PROFILMESSUNGEN FÜR WINDKRAFTANLAGEN**

Lead: **RUAG**

Contact: **Guillaume Michel** michel.guillaume@ruag.com

Abstract: Ziel des Projektes ist die Implementation und die Inbetriebnahme eines Versuchsaufbaus für Profilmessungen für Windkraftanlagen im Large Subsonic Wind Tunnel Emmen (LWTE-Windkanal) der RUAG Aviation in Emmen. Der Versuchsaufbau soll die spezifischen Anforderungen von Horizontalachsen-Windmaschinen optimal berücksichtigen und es ermöglichen, Messungen an Profilen im Massstab 2:1 bei einer Reynoldszahl von 10 Mio durchzuführen

P&D 3.2

Funding: BFE	
Period: 2011–2013	
- VEREISUNG WEA ST. BRAIS**

Lead: **Meteotest**

Contact: **Cattin René** rene.cattin@meteotest.ch

Abstract: Die Verfügbarkeit der Windenergieanlagen in St. Brais wird innerhalb des Projekts genutzt, um Erkenntnisse über das Betriebsverhalten unter vereisenden Bedingungen zu evaluieren. Der Produktionsverlust einer WEA ohne Blattheizung wurde mit ca. 10% der Jahresproduktion beziffert.

P&D 3.2

Funding: BFE	
Period: 2009–2013	
- VEREISUNG WEA ST. BRAIS**

Lead: **Meteotest**

Contact: **Cattin René** rene.cattin@meteotest.ch

Abstract: Die Verfügbarkeit der Windenergieanlagen in St. Brais wird innerhalb des Projekts genutzt, um Erkenntnisse über das Betriebsverhalten unter vereisenden Bedingungen zu evaluieren. Der Produktionsverlust einer WEA ohne Blattheizung wurde mit ca. 10 % der Jahresproduktion beziffert.

P&D 3.2

Funding: BFE	
Period: 2009–2013	
- SWISSKITEPOWER - NOVEL WIND ENERGY EXTRA**

Lead: **Fachhochschule Nordwestschweiz**

Contact: **Houle Corey** corey.houle@fhnw.ch

Abstract: The long term goal of the SwissKitePower project is to install and operate a Kite Power Plant within Switzerland. A fully functioning prototype will be developed as a technology demonstrator to prove the functionality of the technology and to provide experimental data for model validation.

R&D 3.2

Funding: BFE	
Period: 2011–2014	

- **AIRFOIL-BASED SOLUTION FOR VESSEL ON-BOARD ENERGY PRODUCTION DESTINED TO TRACTION AND AUXILIARY SERVICES (KITVES)** R&D 3.2
- Lead: Haute Ecole Arc Ingenierie Funding: FP7
- Contact: Zaquini Leonello leonello.zaquini@ha-arc.ch Period: 2008–2012
- Abstract: KiteVes solution is based on the on-board realisation of a wind-powered generator, capable to harvest the altitude wind. The kites will be equipped with sensors. The data will be transmitted to a control unit (placed on the vessel) which pilot motors (also placed on the vessel).
- **TESTSTANDORTE FÜR WINDKRAFTANLAGEN UND WINDMESSUNGEN IM KOMPLEXEN GELÄNDE DER SCHWEIZ** R&D 3.2
- Lead: New Energy Scout Funding: BFE
- Contact: Dietl Michael m.dietl@newenergyscout.com Period: 2011–2012
- Abstract: Im Rahmen der Vorstudie sollen Untersuchungen zu folgenden Themen ausgeführt werden: Teststandorte für Windkraftanlagen im komplexen Gelände, Möglichkeiten zur experimentellen Untersuchung des Anströmbereichs von Windturbinen im komplexen Gelände mittels gongelbasierter LiDAR und Voruntersuchungen zum Teststandort für Windmessungen im komplexen Gelände der Schweiz. Anschliessend wird versucht einen optimalen Standort zu eruieren.
- **VERIFIZIERUNG DER THEORETISCHEN LEISTUNGSKURVE EINER NEUEN WINDTURBINE** R&D 3.2
- Lead: Agile Wind Power AG Funding: BFE
- Contact: Richter Patrick patrick.richter@agilewindpower.com Period: 2011–2012
- Abstract: Ziel dieses Projektes ist es, die effektive Leistung und den Wirkungsgrad eines neuartigen Windkraft-Turbinenkonzepts am einem voll funktionsfähigen Prototyp zu analysieren.
- **EINBEZUG VON LOKALER TOPOGRAPHIE, GEBÄUDEPROFILIEN UND VEGETATION IN EIN WINDENERGIE-PLANUNGSTOOL** R&D 3.2
- Lead: Fachhochschule Nordwestschweiz Institut für Thermo- und Fluid-Engineering Funding: KTI
- Contact: Heiniger Kurt kurt.heiniger@fhnw.ch Period: 2011–2012
- Abstract: Ziel ist es, ein Planungstool für Ertragsvorhersage und Detailplanung von Windkraftanlagen zu entwickeln. Das Modul soll deutlich über die state-of-the-art Modelle hinausgehen, welche vor allem die oberen atmosphärischen Schichten ab 50-70 m Höhe gut abbilden. Mit dem zukünftigen Tool soll auch das Potential bodennaher Windsysteme betrachtet werden können (Höhenbereich < 30 m, kleinräumiger Topographie, Vegetation und Bebauung).
- **MICRO WINDTURBINEN IM URBANEN UMFELD** R&D 3.2
- Lead: KTI-Innovationscheck Funding: KTI
- Contact: Escala Marina marina.escala@zhaw.ch Period: 2011–2012
- Abstract: Es soll die Stromproduktion einer Mikrowindturbine (ca. 200W) mit Windverhältnisse verglichen, die Leistungskurve unter realen, turbulenten Verhältnissen gemessen und mit der theoretischen Leistungskurve verglichen werden. Eine solche Turbine ist ausserordentlich kompakt und leise, dadurch auch im urbanen Gebiet einsetzbar.
- **AUSWIRKUNGEN VON WKA AUF VOGELWELT** R&D 3.2
- Lead: Vogelwarte SEmpach Funding: BFE
- Contact: Liechti Felix felix.liechti@vogelwarte.ch Period: 2009–2014
- Abstract: Vergleichende Studie, Auswirkung WKA auf Vogelwelt (Zugvögel und ansitzende Vögel), Jura, Gotthard, Schwyberg. Aufgrund der Literatursauswertung sind Konflikte in erster Linie dort zu erwarten, wo gefährdete Arten offener Landschaften betroffen sind oder wo sich Zugvögel aufgrund topographischer Bedingungen konzentrieren. Der Standortwahl ist deshalb höchstes Gewicht einzuräumen, um Konflikte mit der Vogelwelt möglichst zu vermeiden.
- **SOZIALPSYCHOLOGISCHE AKZEPTANZ VON WINDKRAFTPROJEKTEN AN POTENTIELLEN STANDORTEN** R&D 3.2
- Lead: Universität Zürich, Lehrstuhl Sozialpsychologie Funding: BFE
- Contact: Götz Walter g.walter@psychologie.uzh.ch Period: 2012
- Abstract: Das Forschungsprojekt befasst sich mit der lokalen Akzeptanz von Windkraftprojekten in fünf Schweizer Gemeinden. Mittels eines experimentellen Designs wurde der Einfluss von drei Projekt- und Verfahrensparametern auf die lokale Akzeptanz untersucht.

● **WIRKUNGEN VON WINDKRAFTANLAGEN AUF ANWOHNER:
EINFLUSSFAKTOREN UND EMPFEHLUNGEN**

R&D 3.2

Lead: Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Psychologie

Funding: BFE

Contact: Gundula Hübner gundula.huebner@psych.uni-halle.de

Period: 2012–2013

Abstract: Ziel des vorliegenden Forschungsprojektes ist es, die positiven sowie kritischen Auswirkungen von WKA in der Schweiz zu analysieren, welche die Anwohner dieser Anlagen wahrnehmen. Aus den Ergebnissen der Analyse werden Handlungsempfehlungen abgeleitet, wie kritische Wirkungen vermindert und Akzeptanz fördernde Faktoren genutzt werden können.

● **VISASIM – VISUELL-AKUSTISCHE SIMULATION ZUR BEWERTUNG DER
LANDSCHAFTSVERTRÄGLICHKEIT VON WINDPARKS**

R&D 3.2

Lead: ETH Zurich, IRL - Institut für Raum- und Landschaftsentwicklung

Funding: SNF

Contact: Ulrike Wissen-Hayek wissen@nsl.ethz.ch

Period: 2011–2014

Abstract: Ziel des Projekts VisAsim ist die Entwicklung einer GIS-basierten visuell-akustischen 3D Landschaft, die sowohl eine ästhetische Bewertung des Landschaftsbildes als auch eine akustische Bewertung der neuen Infrastrukturen im jeweiligen Landschaftskontext ermöglicht.



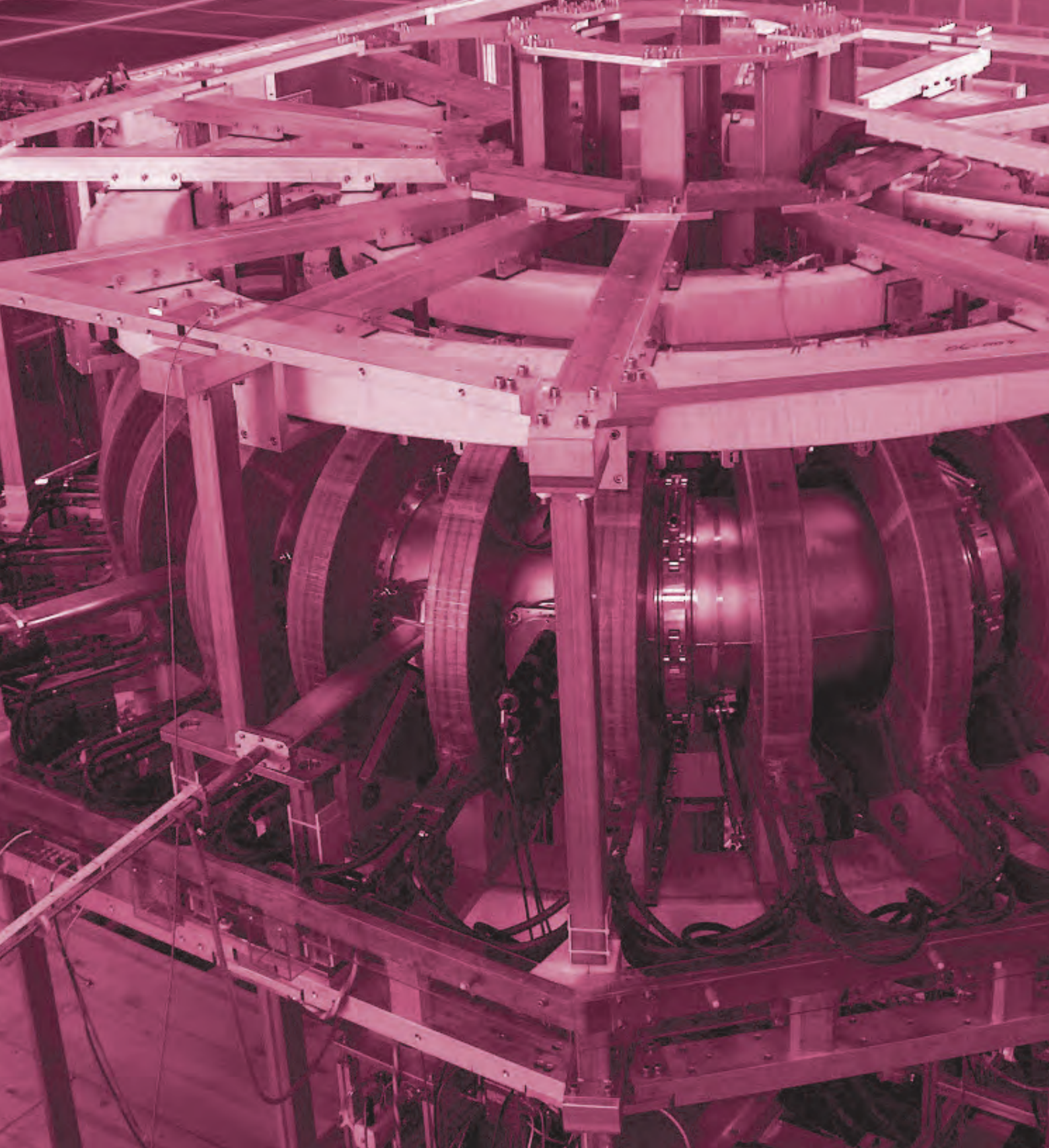
Barrages



Barrage de Limmern (canton de Glaris, Suisse)

Dans le projets « Linthal 2015 » une nouvelle centrale de pompage-turbinage souterraine sera construite qui servira à refouler l'eau du Limmernsee vers le Mutsee. Cette nouvelle installation aura une puissance de 1000 MW (source : Luftwaffe).

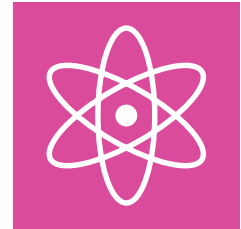
Weitere Informationen zu Aktivitäten und Forschungsprojekten im Bereich Talsperren finden sich auf der Webseite www.bfe.admin.ch/talsperren.



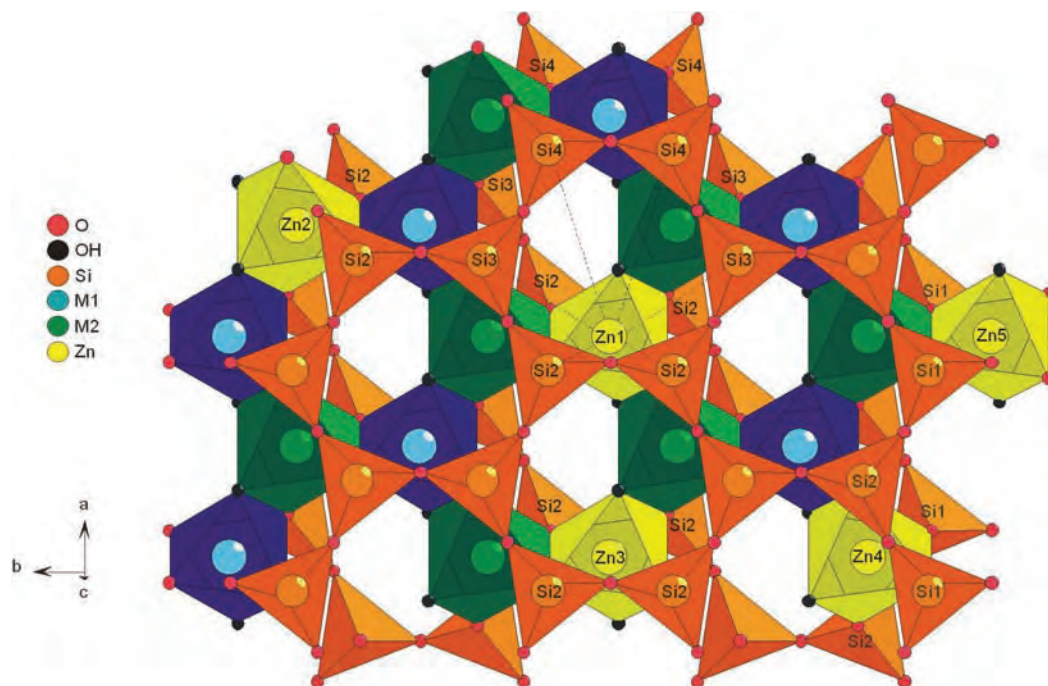
Kernenergie *Énergie Nucléaire*

Bild vorherige Seite:

TORPEX, a toroidal device operated at CRPP-EPFL and dedicated to basic plasma experiments such as studies of plasma turbulence and fast ion physics (EPFL SB CRPP).



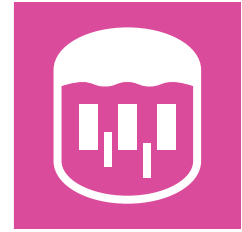
Kerntechnik und Nukleare Sicherheit



Sorption von radioaktiven Elementen an Tonmineralien in radioaktiven Endlagern

Illustration von Zink-Komplexen inkorporiert in Montmorillonit und Zink-Komplexe sorbiert an oktaedrischen Positionen (Zn2–Zn5) (M1 kennzeichnet trans- und M2 cis-oktaedrische Aluminium-Positionen).

Eine ausführliche Darstellung der Aktivitäten und Forschungsprojekte am PSI-Departement für Kernenergie und Nukleare Sicherheit findet sich auf der Webseite <http://nes.web.psi.ch>.



Reiner Mailänder

Regulatorische Sicherheitsforschung



Halden Reactor Project

Der neue Kontrollraum des Halden-Reaktors. Dieser wurde 2012 modernisiert, wozu der Bereich Mensch-Technik-Organisation des HRP wesentliche Beiträge leistete (Quelle: Halden Reactor Project).

Einleitung

Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI ist die Aufsichtsbehörde des Bundes für die Kernanlagen. Es prüft laufend die Sicherheit in den Kernkraftwerken und beaufsichtigt die Transporte und die Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle sowie die Arbeiten zur geologischen Tiefenlagerung. Das ENSI übt seine Aufsichtstätigkeit unabhängig von politischen und wirtschaftlichen Interessen aus. Oberstes Ziel der Aufsichtstätigkeit des ENSI ist der Schutz von Menschen und Umwelt vor Schäden durch Radioaktivität, wie es Artikel 4 des Kernenergiegesetzes KEG vorgibt.

Bei der Wahrnehmung seiner Aufsichtstätigkeit ist es für das ENSI unerlässlich, im Bereich der Nuklearsicherheit auf dem Stand von Wissenschaft und Technik zu sein. Das ENSI verfolgt daher mit dem Programm «Regulatorische Sicherheitsforschung» vor allem die drei folgenden Ziele:

1. Die Resultate von Forschungsprojekten sollen der laufenden Aufsichtstätigkeit des ENSI dienen. Forschungsergebnisse gehen in vom ENSI zu erstellende Richtlinien ein und werden auch für konkrete Einzelentscheide als Grundlage he-

rangezogen. Bestimmte Forschungsprojekte entwickeln und verbessern auch Hilfsmittel für die Aufsicht wie zum Beispiel Computerprogramme.

2. Die vom ENSI geförderten Forschungsprojekte stellen den Kompetenzerhalt bei den Fachleuten des ENSI und bei seinen externen Experten sicher. Das ENSI fördert mit diesen Forschungsprojekten insbesondere die Ausbildung im Bereich der nuklearen Sicherheit.

3. Nicht zuletzt dienen Forschungsprojekte der internationalen Vernetzung des ENSI und der schweizerischen Forschung. Der internationale Austausch ist im Bereich der nuklearen Sicherheit ausserordentlich wichtig. Die Projekte des Forschungsprogramms werden grossteils von Organisationen aus verschiedenen Ländern finanziert oder zumindest in Kooperation mit internationalen Partnern durchgeführt. So erhält das ENSI Resultate, die in der Schweiz alleine nicht erzielt werden könnten. Das ENSI ist in über 70 internationalen Gremien vertreten. In vielen von diesen werden Forschungsprojekte gesteuert und deren Ergebnisse in internationale Standards umgesetzt.

Zur Strategie des ENSI gehört es, dass jedes Forschungsprojekt durch eine Expertin oder einen Experten aus den ENSI-Fachsektionen begleitet wird. So fliessen die im Projekt gewonnenen Erfahrungen direkt in die Aufsichtstätigkeit ein. Gerade die Projektbegleitung verschafft den Fachsektionen die Möglichkeit, ihre Kompetenzen zu erhalten und weiter zu entwickeln.

Das Forschungsprogramm trägt zur Bewältigung der zentralen Herausforderungen des ENSI bei. Zu diesen zählen insbesondere der Langzeitbetrieb der bestehenden Kernkraftwerke und die Entsorgung der radioaktiven Abfälle. Zudem ist davon auszugehen, dass sich weiterer Forschungsbedarf aus der Aufarbeitung des Unfalls von Fukushima ergibt.

Den Herausforderungen trägt das ENSI in den Programmschwerpunkten Rechnung. Die vom Bund geförderten Projekte stellen nur einen Teil des Forschungsprogramms dar. Den überwiegenden Teil der Kosten stellt das ENSI den Beaufichtigten in Rechnung.

Jahresberichte zu allen Projekten des Forschungsprogramms *Regulatorische Sicherheitsforschung* inklusive Publikationen und Details zur nationalen und internationalen Zusammenarbeit finden sich im Erfahrungs- und Forschungsbericht 2012 des ENSI. Er kann unter www.ensi.ch heruntergeladen werden.

IEA Klassifikation: 4.1.1 Light-water reactors (LWRs)

Schweizer Klassifikation: 3.1.1 Sicherheit

Programmschwerpunkte

Das Programm *Regulatorische Sicherheitsforschung* gliedert sich in sieben Themenbereiche:

Brennstoffe und Materialien

Dieser Themenbereich beschäftigt sich mit dem Reaktorkern sowie den Strukturmaterialien der wichtigsten gestaffelten Barrieren, welche den Brennstoff und den Reaktorkern umgeben und die radioaktiven Stoffe einschliessen. Die Brennelemente werden mehrere Jahre im Reaktorkern eingesetzt, bevor sie verbraucht sind und ausgetauscht werden; beim Brennstoff und den Brennstabhüllrohren stehen deshalb die Anforderungen während dem Normalbetrieb und während bestimmten Störfällen im Mittelpunkt. Anders ist dies bei den wenigen nicht austauschbaren Komponenten des Primärkreislaufs, vor allem dem Reaktordruckbehälter, sowie beim Sicherheitsbehälter, dem so genannten Containment; bei diesen sind vor allem die Prozesse der Materialalterung entscheidend. Im Hinblick auf den Langzeitbetrieb der Kernkraftwerke muss gewährleistet sein, dass für alle Anforderungen weiterhin ausreichende Sicherheitsmargen vorhanden sind.

Datenbanken zu Schäden und internen Ereignissen

Die Projekte in diesem Bereich werden von der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung OECD koordiniert. Sie fördern den internationalen Erfahrungsaustausch über Störfälle in Kernkraftwerken sowie über Schäden an Komponenten, die Störfälle auslösen können. Dazu werden themenspezifische Datenbanken aufgebaut, in die systematisch Schadensfälle und Ereignisse aus den teilnehmenden OECD-Staaten eingegeben werden, zum Beispiel zu Schäden an Rohrleitungen und Kabeln sowie Feuerereignissen. Die Daten werden anschliessend ausgewertet mit dem Ziel, auf der Basis einer grösseren Anzahl von Fällen systematische Hinweise auf Schadens- bzw. Störfallursachen zu erhalten. Ein Zusammenschluss auf internationaler Basis ist dazu notwendig, weil die relevanten Ereignisse und Schäden in Kernkraftwerken selten sind.

Externe Ereignisse

Neben den Schäden, die durch Ereignisse innerhalb eines Kernkraftwerks entstehen können, berücksichtigen die Sicherheitsanalysen auch Ereignisse, die eine Anlage von aussen treffen können. Das ENSI unterstützt zu diesem Bereich mehrheitlich internationale Projekte, die aufwändige Experimente und Simulationen durchführen und damit den Erfahrungsaustausch zwischen den Ländern fördern. Speziell auf die Schweizer Verhältnisse zugeschnitten sind schliesslich die Expertengruppe Starkbeben des Schweizerischen Erdbebendienstes SED und die neue Plattform Extremereignisse PLATEX, an der mehrere Bundesbehörden beteiligt sind. PLATEX soll sich zunächst mit Fragen der Hochwassergefährdung befassen.

Menschliche Faktoren

Übergeordnetes Ziel ist hier die Reduktion der Unsicherheit menschlicher Handlungen bei der probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA), die das Risiko von Störfällen in Kernkraftwerken quantitativ erfasst. Der Bereich umfasst vor allem zwei Schwerpunkte. Einerseits geht es um den Einfluss menschlicher Handlungen auf Störfälle und deren Beherrschung. Dabei wird vor allem die Zuverlässigkeit des Operateurverhaltens unter verschiedenen Bedingungen mit der so genannten Human Reliability Analysis (HRA) untersucht. Zweiter Schwerpunkt ist der Einfluss der Kontrollraumgestaltung auf die Leistung der Operateure (Human-System Interface), der insbesondere im Halden Reactor Project betrachtet wird.

Systemverhalten und Störfallabläufe

Dieser Bereich betrifft die in der Reaktoranlage und im Containment ablaufenden Prozesse, ausgehend vom Normalbetrieb über Änderungen des Reaktorverhaltens, die bei Störfällen in kurzer Zeit ablaufen können, bis hin zu Kernschmelz-Unfällen. Für so genannte deterministische Sicherheitsanalysen werden Computermodelle dieser Vorgänge erstellt, mit Hilfe von Experimenten validiert und laufend weiterentwi-

ckelt. Sie dienen auch als Grundlage für die quantitative Ermittlung des Anlagenrisikos in probabilistischen Sicherheitsanalysen.

Strahlenschutz

Die Arbeiten im Bereich Strahlenschutz umfassen ein breites Spektrum anwendungsbezogener Themen. Sie reichen von der Überprüfung und Kalibrierung von Messsystemen für ionisierende Strahlung und der von Helikoptern aus durchgeführten Messung der Ortsdosisleistung in der Umgebung von Kernanlagen (Aeroradiometrie) bis hin zur Entwicklung neuer Analysemethoden für Radionuklide. Zudem trägt die Mitarbeit an internationalen Normen zur länderübergreifenden Harmonisierung im Strahlenschutz bei. Mit diesen Aktivitäten wird der Strahlenschutz in den Schweiz auf dem Stand der Technik gehalten und die Ausbildung von Nachwuchskräften gefördert.

Stilllegung und Entsorgung

Mit dem Fortschreiten der Standortsuche gemäss dem Sachplan geologische Tiefenlager wird auch die Forschung im Bereich Entsorgung immer wichtiger. Dabei spielt die Untersuchung des Opalinustons im Felslabor Mont Terri eine zentrale Rolle. Die Auslegung eines Tiefenlagers und dessen Überwachung wird ebenso beleuchtet wie die Eigenschaften der darin einzulagernden Abfälle und die in einem Tiefenlager ablaufende Gasentwicklung. Darüber hinaus beschäftigen sich Projekte mit langfristigen Prozessen, welche die Sicherheit eines geologischen Tiefenlagers beeinträchtigen können, nämlich die Tiefenerosion durch Gletscher und die Abtragung infolge tektonischer Hebung der Landschaft. Neu im Forschungsprogramm sind zwei Projekte zum internationalen Wissens- und Erfahrungsaustausch bei Stilllegungsprojekten und eines zu gekoppelten thermischen, hydraulischen, mechanischen und chemischen Prozessen in Tiefenlagern (DECOVALEX). Im ebenfalls neuen EU-Projekt SITEX soll der regulatorische Bedarf für die Realisierung eines geologischen Tiefenlagers diskutiert und evaluiert werden.

Highlights aus Forschung und Entwicklung

OECD Halden Reactor Project – Bereich Brennstoffe und Materialien

Das OECD Halden Reactor Project (HRP) ist ein seit über 50 Jahren laufendes gemeinsames Forschungsprogramm von inzwischen über 130 Institutionen aus 19 Staaten. Es hat zwei Stossrichtungen: Brennstoff- und Materialverhalten sowie Mensch-Technik-Organisation. Experimentelle Arbeiten werden primär im südnorwegischen Halden, nahe der Grenze zu Schweden, von rund 250 wissenschaftlichen Mitarbeitenden durchgeführt. Dort stehen ein Versuchsreaktor, eine Werkstatt zur Herstellung instrumentierter Brennstoff-Versuchsanordnungen, ein Labor zur Interaktion von Mensch und Maschine (Man-Machine Laboratory) sowie zwei Simulationszentren (Virtual Reality Centre und das neue FutureLab) zur Verfügung. Forschungseinrichtungen in den Mitgliedsländern und die Nuklearindustrie beteiligen sich ebenfalls an Experimenten. Das ENSI hat Einsitz im Board of Management, dem leitenden Gremium des Projekts.

Der Versuchsreaktor befindet sich in einer Felskaverne (siehe Titelbild). Es handelt sich um einen Siedewasserreaktor mit einer maximalen thermischen Leistung von 20 Megawatt, der bei einem Druck von etwa 33 bar betrieben wird. Zur Kühlung und zugleich zur Modifizierung der Neutronen dienen rund 14 Tonnen Schwerwasser. Während des Betriebs ist die Felskaverne nicht zugänglich, der Kontrollraum befindet sich in einem nahe gelegenen Gebäude (Titelbild). Die vom Reaktor erzeugte Wärme wird nebenbei dazu genutzt, um eine benachbarte Papierfabrik mit Dampf zu versorgen.

Die Arbeiten im hier beschriebenen Projektbereich liefern Erkenntnisse über Eigenschaften und Verhalten von Brennstoffen und Materialien, die lange Zeit in Reaktoren im Einsatz sind. Bei den Kernbrennstoff-Experimenten werden Brennstabsegmente in instrumentierte Versuchsanordnungen eingesetzt und im Halden-Reaktor weiter bestrahlt. Die Instrumentierungen werden von den Fachleuten des HRP laufend weiter entwickelt. Die Brennstabsegmente können während der Bestrahlung auch Druck-

und Temperaturänderungen ausgesetzt werden. Die Reaktion von Brennstoffen und Hüllrohren auf diese Änderungen wird laufend sowie im Anschluss an den Versuch mittels Nachbestrahlungs-Experimenten analysiert.

Der Halden-Reaktor ist in der Regel jährlich während zwei Versuchsphasen von mehreren Monaten im Betrieb, in den Zwischenphasen werden die Versuche eingerichtet und Wartungsarbeiten vorgenommen. Im Jahre 2012 war der Reaktor wie geplant rund 190 Tage im Vollast-Betrieb, dabei wurden 14 Experimente ausgeführt. Zumeist werden dabei Kernbrennstoff-Anordnungen in so genannten Loop Systems bestrahlt, in denen die thermohydraulischen Bedingungen von Leichtwasserreaktoren simuliert werden. Dank ausgeklügelter Instrumentierung können zahlreiche Parameter wie Temperaturverlauf oder Brennstab-Innendruck und Brennstab-Verformung während des Versuchsablaufs gemessen werden. Andere Daten werden durch anschliessende Untersuchungen der eingesetzten Materialien im Hotlabor in Kjeller östlich von Oslo gewonnen (sogenannte Post Irradiation Examination PIE).

Von den im Jahre 2012 durchgeführten Versuchen sollen diejenigen zu Kühlmittelverlust-Störfällen herausgegriffen werden. Bereits seit mehreren Jahren läuft dazu eine ganze Versuchsserie mit der Nummer IFA-650. Bei einem solchen Störfall werden die Brennstäbe in relativ kurzer Zeit erhöhten Druck- und Temperaturbedingungen ausgesetzt. Es kommt zum Aufblähen der Brennstäbe, von Fachleuten auch «Ballooning» genannt. Beim anschliessenden Wiederauffüllen des Reaktordruckbehälters werden die Brennstäbe mit kühlem Wasser abgeschreckt, was zu grossen Materialspannungen führt. Mit diesen Versuchen sollen die Grenzen der Belastbarkeit der Hüllrohre und das Verhalten des Brennstoffs untersucht und die derzeitigen Sicherheitskriterien überprüft werden. Daran ist die Schweiz in zweierlei Hinsicht massgeblich beteiligt: ein Teil der verwendeten Brennstoffe stammt aus dem Kernkraftwerk Leibstadt (KKL), und von Experten des Paul Scherrer Instituts (PSI) werden die Versuche mit speziellen Computerprogrammen vorausberech-

net. Damit kann der Versuch genauer geplant werden. Zugleich können aber auch die Computerprogramme zur Simulation des Brennstab-Verhaltens getestet und verbessert werden, indem man Abweichungen vom realen Versuchsverlauf analysiert.

Ein im Mai 2011 durchgeführter Versuch mit Brennstoff aus dem KKL (IFA-650.12), bei dem das Hüllrohr infolge von Spannungen in der Abkühlphase versagte und Brennstoff austrat, wurde 2012 mit Messungen im Hotlabor ausgewertet. Demnach war dabei die Trennung zwischen Hüllrohr und Brennstoff komplett (sogenanntes Defueling), und der Brennstoff wies eine sehr feine Konsistenz auf. Der folgende Versuch IFA-650.13 wurde ebenfalls mit Brennstoff aus dem KKL durchgeführt. Die Vorausrechnungen waren wiederum vom PSI erstellt worden, und wie geplant kam es zu einem kompletten Bersten des Hüllrohrs. Gemäss ersten Gamma-Strahlenmessungen trat dennoch relativ wenig Brennstoff aus. Auch dieser Versuch muss nun genauer ausgewertet werden. Weitere Versuche in dieser Serie sind bereits in Vorbereitung bzw. Planung.

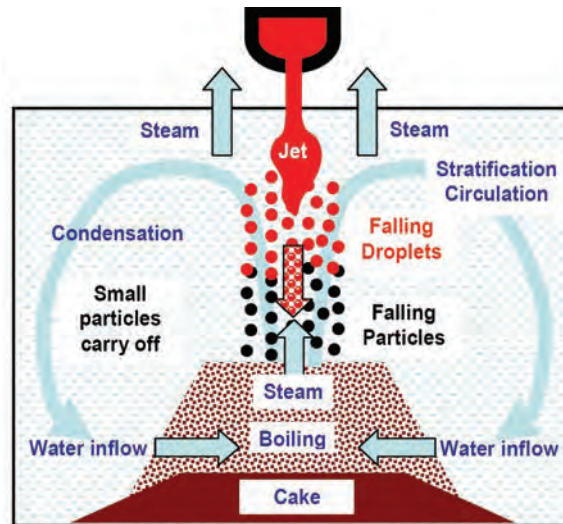
Das HRP, insbesondere die Versuchsserie IFA-650, hatte zusammen mit dem schwedischen Studsvik Cladding Integrity Project SCIP-II im Jahre 2012 unmittelbaren Einfluss auf die Aufsichtstätigkeit des ENSI. Gestützt auf die Versuchsergebnisse hat das ENSI die Betreiber der Schweizer Kernkraftwerke aufgefordert, die Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse auf ihre Anlagen zu überprüfen. Mit dem Engagement beim HRP gewinnt die Schweiz neue Erkenntnisse im Bereich Brennstoff- und Materialsicherheit und kann ihre eigene Kompetenz auf diesem Gebiet verstärken. Weitere Informationen zum HRP finden sich auf der Internetseite des Projekts unter www.hrp.no.

Bruchmechanische Bewertung von mehrlagigen Schweissnähten des Reaktordruckbehälters

Im Reaktordruckbehälter (RDB) befindet sich der wärmeerzeugende Reaktorkern mit den Brennelementen. Der RDB ist Teil des Primärkreislaufs, der das unter hohem Druck stehende Kühlmittel einschliesst, und somit eine von mehreren Barrieren, die das Austreten radioaktiver Stoffe verhindern sollen. Zugleich ist der RDB aufgrund seiner Dimensionen eine der wenigen nicht austauschbaren Komponenten eines Kernkraftwerks. Im Hinblick auf den Langzeitbetrieb der Kernkraftwerke muss für solche Komponenten gewährleistet bleiben, dass für alle Anforderungen weiterhin ausreichende Sicherheitsmargen vorhanden sind. Dies gilt nicht nur für den Normalbetrieb, sondern auch für noch stärkere Belastungen, wie sie während schnell ablaufenden Störfällen auftreten können.

Ein RDB setzt sich für Druckwasserreaktoren aus mehreren geschmiedeten Stahlringen zusammen, die durch umlaufende, mehrlagige Schweissnähte miteinander verbunden sind. Die Bestrahlung mit Neutronen führt im kernnahen Bereich zu Veränderungen der Mikrostruktur des RDB-Materials. Die Folge ist eine Abnahme der Zähigkeit, das heisst das Material wird allmählich spröder. Diese Materialveränderungen der RDB-Werkstoffe werden durch ein Überwachungsprogramm mit sogenannten Einhängenproben zeitlich voreilend geprüft und quantifiziert. Solche Proben aus Originalwerkstoffen werden im Reaktor vergleichbaren Bedingungen ausgesetzt wie das RDB-Material und dann im Labor untersucht. Die Ergebnisse fliessen in den sicherheitstechnischen Nachweis der strukturellen Integrität des RDB ein, den sogenannten Sprödbbruch-Sicherheitsnachweis.

Für die speziell entwickelten RDB-Stähle ist ein relativ steiler Temperaturübergang vom spröden zum zähen Werkstoffverhalten typisch. In diesem Übergangsbereich kann eine Referenztemperatur definiert werden, die sich mit zunehmender Bestrahlung erhöht und damit ein Mass für den Versprödungsgrad darstellt. Für



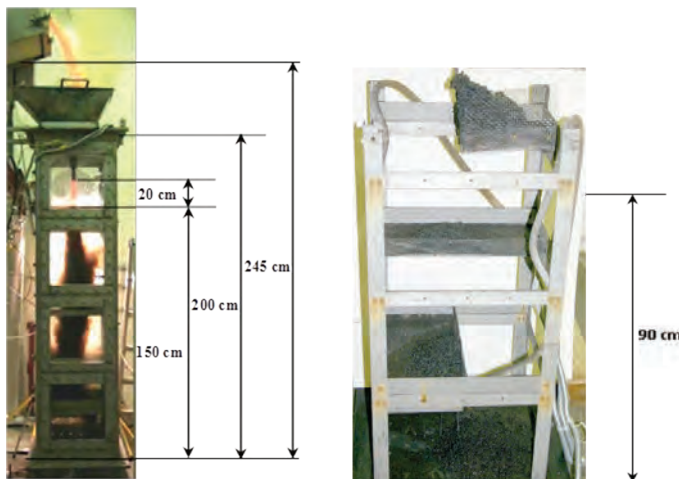
Figur 1: Schematische Darstellung der im Projekt MSWI untersuchten Prozesse (Cake=massiver unterer Teil der Schmelzpartikel-Schüttung). Quelle: KTH Stockholm.

die Bestimmung der Referenztemperatur stehen zwei verschiedene bruchmechanische Ansätze zur Verfügung: Seit mehreren Jahrzehnten wurde dafür das indirekte, halbempirische RTNDT-Konzept (Reference Temperature for Nil Ductility Transition) verwendet. Es nutzt Daten aus den Kerbschlag-Biegeversuchen an bestrahlten Proben. Ein neueres Konzept, die sogenannte Masterkurve-Methode, bestimmt die Referenztemperatur auf direktem Wege mit Hilfe werkstoffwissenschaftlicher und statistischer Modelle. Dieses Verfahren hat den Vorteil, mittels kleiner Bestrahlungsproben direkt bruchmechanische und damit auf Bauteile übertragbare Kennwerte zu ermitteln. Es ist aber grundsätzlich für homogenes Material definiert, wie es die RDB-Stahlringe darstellen. Inhomogenes Material wie die mehrlagigen Schweissnähte zwischen den Ringen war bis dahin wenig untersucht worden.

Das hier beschriebene Projekt, das am Helmholtz-Zentrum in Dresden-Rossendorf durchgeführt wurde, sollte nun klären, ob und unter welchen Bedingungen die Masterkurve-Methode auch für die mehrlagigen Schweissnähte angewendet werden kann. Dazu wurden zahlreiche Proben aus der originalen RDB-Umfangsschweissnaht des nicht in Betrieb gegangenen deutschen Kernkraftwerks

Biblis C bruchmechanisch untersucht. Wichtig war insbesondere die Orientierung der Proben parallel und senkrecht zur Schweissrichtung und deren Einfluss auf die Streuung der Bruchzähigkeit. Es konnte gezeigt werden, dass Proben mit beiden Orientierungen mit Hilfe der Masterkurve-Methode grundsätzlich auswertbar sind. Das inhomogene Schweissgefüge kann aber zu einer relativ starken Streuung der Bruchzähigkeit führen, weshalb eine spezielle Sicherheitsmarge berücksichtigt werden muss. Zusätzlich wurden sogenannte fraktographische und metallographische, also mikroskopische Untersuchungen an den Proben vorgenommen. Demnach wirkt sich die Variation des Gefüges, welche durch die inhomogenen Schweissnähte bedingt ist, nicht wesentlich darauf aus, wo die Risse entstehen.

Zusammengefasst zeigte das Projekt auf, dass die Masterkurve-Methode auch bei den mehrlagigen Schweissnähten angewandt werden kann; Bedingung dafür ist, dass bestimmte Korrekturfaktoren für die Probengrösse und Sicherheitsmargen für die durch Inhomogenitäten bedingte Streuung der Ergebnisse beachtet werden. In diesem Sinne wurden die Resultate des Projekts in die ENSI-Richtlinie B01 übernommen (siehe dortigen Anhang 5, abrufbar unter www.ensi.ch).



Figur 2: Versuch zum Auftreffen von Schmelze auf eine Wasservorlage und der Bildung einer Partikelschüttung in verschiedenen Wassertiefen. Quelle: KTH Stockholm.

ensi.ch). Sie regelt die Anforderungen an die Alterungsüberwachung für den Betrieb von schweizerischen Kernanlagen. Das Projekt hatte somit unmittelbaren praktischen Nutzen für die Aufsichtstätigkeit des ENSI und konnte im Jahre 2012 erfolgreich abgeschlossen werden.

MSWI – Wechselwirkungen von Kernschmelze, Wasser und Anlagenteilen bei schweren Unfällen

Das Projekt MSWI (Melt-Structure-Water-Interactions during Severe Accidents) befasst sich mit Vorgängen, die bei einem schweren Unfall in einem Siedewasserreaktor (SWR) auftreten können. Dabei kann der Reaktorkern wegen fehlender Kühlung schmelzen. Gelingt es im Zuge der Unfallbeherrschung nicht, die Kernschmelze ausreichend zu kühlen, kann der umgebende Reaktordruckbehälter (RDB) versagen und die Kernschmelze austreten. In diesem Fall trifft diese im Inneren des Sicherheitsbehälters (Containment) in der Regel auf eine Wasservorlage. Denn in einem solchen Fall ist bei vielen SWR, so auch bei den Schweizer Anlagen, vorgesehen, dass das Containment rechtzeitig geflutet wird.

Wenn der RDB versagt und die Kernschmelze in eine Wasservorlage fällt,

sind zwei Vorgänge für die weitere Entwicklung des Unfalls entscheidend (siehe auch Figur 1). Erstens kann der Kontakt zwischen geschmolzenem Metall und Wasser unter Umständen zu einer schlagartigen Verdampfung des Wassers führen (Dampfexplosion). Zweitens bildet die Kernschmelze auf dem Boden des Containments eine Schüttung. Diese entwickelt wegen der andauernden atomaren Zerfälle aber auch weiter Wärme (Nachzerfallswärme). Die Verteilung und Struktur der Schüttung entscheidet darüber, ob die Wärme aus der Schmelze mit der Wasservorlage abgeführt werden kann. Ist dies nicht der Fall, so besteht die Gefahr, dass die Schmelze sich in den mehrere Meter mächtigen Betonboden hineinfrißt und diesen im Extremfall durchschmilzt.

Mit diesen komplexen Vorgängen beschäftigt sich die schwedische Königlich-Technische Hochschule (KTH) in Stockholm im Rahmen des Projekts MSWI. Partner dabei sind die schwedische Aufsichtsbehörde (SSM), schwedische Kraftwerksbetreiber, das Nordic Nuclear Safety Research Program (NKS), die EU (SARNET-Programm) und bereits seit 1996 auch das ENSI. Die KTH führt Experimente durch und versucht auf diese Weise, das Verständnis für die Prozesse zu verbessern. Zudem fliesst das gewonnene Wissen in die Entwicklung von

Computerprogrammen zur Simulation der Unfallentwicklung ein. All dies dient dazu, Unsicherheiten zu reduzieren, die bei der Quantifizierung der Risiken eines schweren Unfalls bestehen.

Im Jahre 2012 wurde eine weitere, fünf Jahre dauernde Projektphase gestartet. Die Arbeiten des Jahres 2012 gliedern sich in folgende Teilprojekte:

(i) Austritt der Kernschmelze aus dem RDB: Bei der Frage, auf welche Art der RDB bei einem Kernschmelzunfall versagt, spielen beim SWR die Durchlässe an der halbkugelförmigen Unterseite des RDB eine wichtige Rolle; sie dienen als Führungsrohre für die Steuerstäbe und die Instrumentierung des Reaktorkerns. Die bisherigen Arbeiten zeigen, dass je nach Position der Führungsrohre am RDB die Führungsrohre herausfallen oder sich im Rohr verklemmen können. Ein weiterer Parameter, der untersucht wurde, ist der Druck im RDB. Wird der Druck beispielsweise von 60 bar auf 3 bar verringert, verlängert sich demnach die Zeit bis zum Versagen des RDB je nach Menge der Kernschmelze um 25 bis 43 Minuten. Solche Erkenntnisse können hilfreich sein, um geeignete Massnahmen im Rahmen der Unfallbeherrschung vorzusehen.

(ii) Auswirkungen von Dampfexplosionen: Hier geht es um die Drücke und Impulse, welche aus Dampfexplosionen resultieren und auf die Containment-Wandung übertragen werden. Dazu wurde eine Parameterstudie mit Hilfe von Computermodellen durchgeführt. Variiert wurden insbesondere der Durchmesser mit dem der Schmelzstrahl (Jet) aus dem RDB austritt, die Grösse der Schmelzetropfen und die Temperatur der Wasservorlage in der Reaktorgrube. Als Basis dienen Resultate von früheren Versuchen, bei denen die Kernschmelze durch Oxide der Metalle Wolfram, Wismut und Zirkonium simuliert wurde. Der Druck in der Reaktorgrube und der Impuls auf die Wände waren bei grösseren Schmelzstrahl-Durchmessern höher als bei kleineren, bei Durchmessern zwischen 30 oder 40 cm Durchmesser zeigte sich aber keine grosse Variation. Bei grösseren Tropfen ist die Masse an Schmelze im Wasser grösser, womit auch höhere Drücke und Impulse er-

reicht werden. Tiefere Wassertemperaturen bewirkten nicht etwa weniger, sondern mehr Dampfentwicklung. Dies liegt daran, dass dann mehr Schmelzetropfen in Kontakt mit Wasser kommen, der Schmelzestrahle also offenbar stärker zerteilt wird.

(iii) Kühlbarkeit einer Schmelzpartikel-Schüttung: Wenn die Kernschmelze als Strahl aus dem RDB austritt und in die Wasservorlage eintritt, so wird der Strahl in zunehmender Tiefe immer weiter aufgetrennt (siehe auch Figur 2). Am Boden des Containments bildet sich daraufhin eine Schüttung aus Schmelzpartikeln. Für die Untersuchungen dieser Schüttbettbildung wurden weitere Experimente durchgeführt, bei denen die

Distanz zwischen Austritt der Schmelze und Wasseroberfläche variiert wurde. Bei Austritt der Schmelze unterhalb der Wasseroberfläche resultierten grössere Schmelzpartikel und eine Änderung der Morphologie, verglichen mit dem Austritt weiter oben. Bei den Untersuchungen zur Ausbreitung des Schmelzpartikel-Schüttbetts zeigte sich, dass dieses nach der Ablagerung meist grösstenteils immobil ist. Durch später auftretende Strömungen von Wasser und Dampf wird nur noch die oberste Schicht der Schmelzpartikel verlagert. Die Mächtigkeit dieser Schicht beträgt einige Partikeldurchmesser. Dieses Verhalten ist nicht abhängig von der Grösse des verwendeten Behälters und der Menge der Schmelze.

Im Zuge der laufenden Projektphase soll bis Ende 2016 eine Struktur zur Unfallanalyse entwickelt werden, mit der Gefährdungen der Containment-Integrität quantifiziert werden können. Dabei sollen deterministische und probabilistische Analysen kombiniert werden. Das ENSI sieht darin einen wertvollen Beitrag zur Stufe 2 von probabilistischen Sicherheitsanalysen, in der Unfallverläufe von der Kernschmelze bis zur Freisetzung grösserer Mengen von Radioaktivität betrachtet werden. Zudem können die Unterlagen für die Beherrschung schwerer Unfallsituationen (Severe Accident Management Guidelines SAMG) optimiert werden.

Nationale Zusammenarbeit

Der wichtigste inländische Partner des ENSI beim Programm «Regulatorische Sicherheitsforschung» ist das Paul Scherrer Institut PSI, insbesondere der PSI-Bereich Nukleare Energie und Sicherheit NES. Das PSI hat im Rahmen der internationalen Nuklearsicherheit einen ausgezeichneten Ruf und trägt wesentlich dazu bei, dass die Schweiz international eine massgebende Rolle bei der Weiterentwicklung der

Sicherheitsvorgaben spielt. Bei den vom Bund geförderten Projekten arbeitet das ENSI darüber hinaus mit dem Geoinformationszentrum des Bundes Swisstopo zusammen, welches das internationale Forschungsprojekt Mont Terri koordiniert. Darüber hinaus sind insbesondere die Forschungsgruppe Ingenieurgeologie der ETH Zürich und die Universität Bern weitere nationale Partner.

Internationale Zusammenarbeit

Der wichtigste internationale Partner des ENSI bei der Forschung ist die Kernenergieagentur NEA der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung OECD. Die NEA-Mitgliedsstaaten verfügen zusammen über ca. 85 % der weltweiten nuklearen Stromerzeugungskapazität. Die NEA mit Sitz in Paris unterstützt ihre Mitgliedsländer bei der Weiterentwicklung der technischen, wissenschaftlichen und rechtlichen Grundlagen.

Folgende vom Bund geförderte Projekte werden durch mehrere internationale Partner finanziert: OECD Halden Reactor Project, OECD CODAP, OECD ICDE, OECD CADAK, OECD FIRE, MSWI, OECD Clay Club und Mont Terri Project. Darüber hinaus kooperieren folgende vom Bund geförderte Projekte mit internationalen Partnern: SAFE und Generischer Strahlenschutz. Auch die übrigen Projekte werden grösstenteils durch Institutionen aus verschiedenen Ländern finanziert oder kooperieren mit internationalen Partnern.

Laufende und im Berichtsjahr abgeschlossene Projekte

(* IEA-Klassifikation)

● OECD HALDEN REACTOR PROJECT

4.1.4*

Lead:	OECD-NEA	Funding:	ENSI
Contact:	Reiner Mailänder	Period:	2012–2014
Abstract:	Das Projekt hat zwei Stossrichtungen: Brennstoff- und Materialverhalten sowie Mensch-Technologie-Organisation (MTO). Im Bereich Brennstoff und Materialverhalten stehen der Hochabbrand von Brennstoffen und die Materialalterung von Kerneinbauten im Vordergrund. Im Bereich MTO werden Studien durchgeführt zur menschlichen Zuverlässigkeit sowie zum Zusammenspiel zwischen Operateuren und Instrumenten der Kontrollräume.		

● SAFE – SAFE LTO IN THE CONTEXT OF ENVIRONMENTAL EFFECTS ON FRACTURE, AND EAC

FATIGUE

4.1.4

Lead:	PSI	Funding:	ENSI
Contact:	Klaus Germerdonk	Period:	2012–2014
Abstract:	SAFE befasst sich mit möglichen Umgebungseinflüssen auf die Bruchzähigkeit und die Ermüdung in wichtigen LWR Strukturwerkstoffen, dem SpRK-Risswachstum in RDB-Mischnähten sowie Grundlagenuntersuchungen zur SpRK-Risikobildung in ferritischen und austenitischen Stählen.		

● BRUCHMECHANISCHE BEWERTUNG VON REAKTORDRUCKBEHÄLTER-MEHLAGENSCHWEISSNÄHTEN

4.1.4

Lead:	Forschungszentrum Dresden-Rossendorf	Funding:	ENSI
Contact:	Dietmar Kalkhof	Period:	2010–2012
Abstract:	Die Integrität des Reaktor Druckbehälters (RDB) ist eine grundlegende Voraussetzung für den sicheren und langfristigen Betrieb von Kernkraftwerken. Das Ziel des Projektes besteht darin, die Anwendbarkeit des Masterkurvenkonzeptes für inhomogene Materialzustände von Mehrlagenschweissnähten des RDB zu überprüfen.		

● OECD CODAP – COMPONENT OPERATIONAL EXPERIENCE DEGRADATION AND AGEING PROGRAMME

4.1.4

Lead:	OECD-NEA	Funding:	ENSI
Contact:	Susanne Schulz	Period:	2005–2014
Abstract:	Die Datenbank OPDE (OECD Piping Failure Data Exchange Project) ist ein internationales Projekt der OECD-NEA, welches dazu dient, eine umfangreiche Datensammlung Alterungs- und Schädigungsmechanismen von mechanischen Ausrüstungen in Kernkraftwerken zu erstellen und zu pflegen.		

● OECD CADAQ – CABLE AGEING DATA AND KNOWLEDGE PROJECT

4.1.4

Lead:	OECD-NEA	Funding:	ENSI
Contact:	Franz Altkind	Period:	2012–2014
Abstract:	Das OECD-Projekt CADAQ beschäftigt sich mit Alterungsphänomenen von elektrischen Kabeln. CADAQ hat sich zum Ziel gesetzt, die technische Basis für die Lebensdauer von klassierten elektrischen Kabeln unter dem Gesichtspunkt von Unsicherheiten bei den Qualifikationstests, welche vor der Erstinbetriebnahme stattfanden, neu zu beurteilen.		

● OECD ICDE – INTERNATIONAL COMMON-CAUSE FAILURE DATA EXCHANGE

4.1.4

Lead:	OECD-NEA	Funding:	ENSI
Contact:	Roland Beutler	Period:	2004–2014
Abstract:	Ziel dieses Projektes ist die Förderung des internationalen Erfahrungsaustausches über so genannte Common-Cause Failure- (CCF) Ereignisse. Dies sind Ereignisse, bei denen gleichartige Fehler an mindestens zwei Komponenten auf Grund einer gemeinsamen Ursache auftreten. In die dafür erstellte Datenbank werden systematisch Schadensfälle und Ereignisse aus den teilnehmenden OECD-Staaten eingegeben und ausgewertet.		

● OECD FIRE – FIRE INCIDENT RECORD EXCHANGE

4.1.4

Lead:	OECD-NEA	Funding:	ENSI
Contact:	Annette Ramezani	Period:	2004–2013
Abstract:	Das Ziel des Projekts ist die Erhebung und die Analyse von Daten zu Brandereignissen in Kernkraftwerken. Es soll dazu beitragen, die Ursachen, die Ausbreitung und die Auswirkungen von Bränden besser zu verstehen, die Brandverhütung weiter zu optimieren und die Basis für Probabilistische Sicherheitsanalysen (PSA) von Kernkraftwerken zu verbessern.		

● **CSARP – COOPERATION IN THE SEVERE ACCIDENT RESEACH PROGRAM**

4.1.4

Lead:	U.S.NRC	Funding:	ENSI
Contact:	Annatina Müller	Period:	2008–2013
Abstract:	Rahmenvertrag für die Kooperation mit der U.S.NRC für Forschung und Informationsaustausch zu schweren Reaktorunfällen.		

● **MSWI – MELT-STRUCTURE-WATER-INTERACTIONS DURING SEVERE ACCIDENTS IN LWR**

4.1.4

Lead:	Königlich-Technische Hochschule (KTH) Stockholm	Funding:	ENSI
Contact:	Rainer Hausherr	Period:	2012–2016
Abstract:	Das Projekt dient der Untersuchung von Phänomenen, welche bei einem schweren Unfall mit Kernschmelze in einem Siedewasserreaktor (SWR) auftreten könnten: Kühlbarkeit einer Kernschmelze im Reaktordruckbehälter, Bildung von Schmelzpartikelschüttungen, Kühlbarkeit einer Schmelzpartikelschüttung, Risikobeurteilung von Dampfexplosionen.		

● **ZUSAMMENARBEIT IN DER GENERISCHEN STRAHLENSCHUTZFORSCHUNG**

4.1.4

Lead:	PSI	Funding:	ENSI
Contact:	Franz Cartier	Period:	2010–2012
Abstract:	Im PSI befasst sich die Sektion Messwesen der Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit (ASI) mit Fragen der Personendosimetrie, der Oberflächenkontaminations- und der Aerosolmesstechnik sowie mit der Weiterentwicklung der Radioanalytik. Das Projekt soll es dem ENSI ermöglichen, geeignete Studien, Entwicklungsarbeiten und Messkampagnen im vereinbarten Rahmen durch die Sektion Messwesen durchführen zu lassen.		

● **FORSCHUNGSPROJEKT FELSLABOR MONT TERRI**

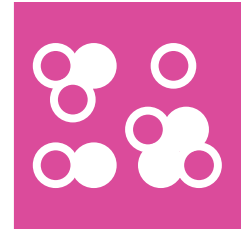
4.1.4

Lead:	Mont-Terri-Konsortium unter Leitung von Swisstopo	Funding:	ENSI
Contact:	Erik Frank	Period:	2007–2012
Abstract:	Das internationale Forschungsprojekt Felslabor Mont-Terri bei St. Ursanne hat zum Ziel, die hydrogeologischen, geochemischen und felsmechanischen Eigenschaften des Opalinustons zu untersuchen. Diese Eigenschaften sind für die Beurteilung der Sicherheit und die Abklärung der bautechnischen Machbarkeit eines geologischen Tiefenlagers für radioaktive Abfälle in diesem Gestein massgebend.		

● **OECD WORKING GROUP ON MEASUREMENTS AND PHYSICAL UNDERSTANDING OF GROUNDWATER FLOW THROUGH ARGILLACEOUS MEDIA ("CLAY CLUB")**

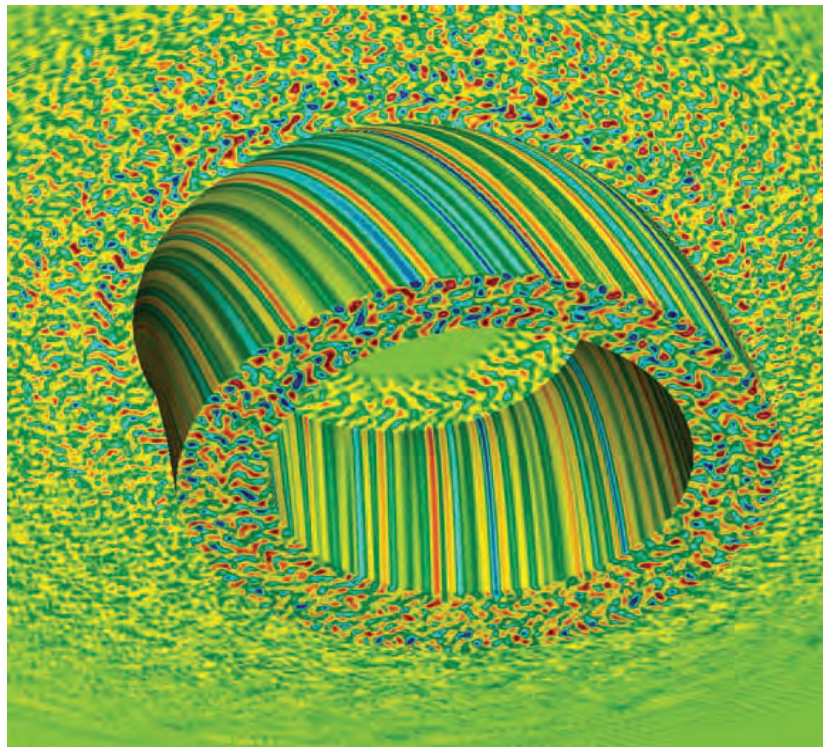
4.1.4

Lead:	OECD-NEA	Funding:	ENSI
Contact:	Erik Frank	Period:	2011–2014
Abstract:	Ziel des Clay Clubs ist es, den internationalen Stand der Wissenschaft in der Tongesteinsforschung zu verfolgen, den Kenntnisstand der sicherheitsrelevanten Prozesse und Parameter von Tongesteinen zu diskutieren, allfällige Lücken zu erkennen und mit gemeinsamen Projekten zu schliessen.		



Minh Quang Tran, Laurent Villard et Laurent Marot

Fusion thermonucléaire contrôlée



Vue instantanée et en coupe d'une simulation globale de la turbulence dans un plasma d'ITER

Introduction

Il n'existe pas à proprement parler de programme fusion thermonucléaire en Suisse. Les activités de fusion sont fortement liées au programme de recherche européen *Euratom* (Communauté européenne de l'énergie atomique), notamment sa partie concernant la fusion thermonucléaire.

Depuis de nombreuses années, la Suisse a été associée aux recherches sur la fusion. En effet, en 1958, la 2^{ème} Conférence internationale sur l'utilisation pacifique de l'énergie atomique s'est tenue à Genève et a donné lieu à la déclassement des recherches en fusion. Trois ans après, en 1961, avec la création du Centre de Recherches en Physique des Plasmas (CRPP), la Suisse s'est jointe au club des nations pionnières dans ce domaine. En 1979, par un traité international avec l'Euratom, elle s'est associée pleinement au programme européen sur la fusion en y apportant des compétences spécifiques et, grâce à cette association, a permis leur valorisation au niveau international.

La Suisse participe donc à ces efforts et développe des connaissances dans la physique des plasmas et les technologies de fusion pour obtenir une source d'énergie pratiquement sans limite.

La fusion devrait ainsi produire une énorme quantité d'énergie presque sans production de CO₂. Le combustible est disponible en grande quantité et bien réparti sur terre. Un réacteur de fusion est intrinsèquement sûr et sa puissance peut être transformée en chaleur, électricité ou utilisée pour la production d'hydrogène. Une centaine d'années après son déclassement, le matériel activé devrait être entièrement recyclé et non radioactif.

Tous ces avantages doivent être mis en regard d'une difficulté majeure: la fusion nucléaire nécessite des conditions extrêmes pour sa mise en service. Le défi est autant physique que technologique. Le programme européen de recherche sur la fusion s'est concentré dès son début sur le développement de l'électricité. Depuis près de 40 ans, cette stratégie a été suivie avec ténacité par Euratom.

L'Europe dans son ensemble se trouve à la pointe de la connaissance dans l'énergie de fusion. Avec la construction du Tore européen commun (Joint European Torus, JET), auquel la Suisse a également participé comme partenaire à part entière, l'Europe était bien préparée pour la prochaine génération de réacteur expérimental de Fusion ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor). Cet immense projet est la seule étape restante entre les expériences d'aujourd'hui et DEMO, un projet d'usine de démonstration. Ce dernier devrait être le premier réacteur à fusion produisant de l'électricité et prouver la viabilité économique de l'énergie de fusion.

En fin de compte, ITER prouvera la faisabilité technique de la fusion en répondant à la question : est-ce vraiment possible de créer l'énergie du soleil sur terre ? De son côté, DEMO prouvera sa faisabilité économique en fournissant une réponse à cette interrogation : la fusion thermonucléaire est-elle rentable ?

Les avantages et défis de la fusion sont bien connus. Il est à noter que d'immenses progrès ont été effectués: ils ont permis le lancement d'ITER, dont la construction est en cours à Cadarache (France) et devrait s'achever vers la fin de la décennie. Quant à DEMO, ce réacteur est prévu pour les années 2040–2050.

Classification de l'AIE : 4.2 Nuclear Fusion

Classification Suisse: 3.2 Fusion

Centres de gravité du programme

L'extension de deux ans (2012–2013) du programme Euratom est entrée en force. Elle couvre, comme lors des années précédentes, deux parties principales, ITER et le programme européen de R&D en fusion.

ITER

Le budget européen alloué à ITER pour 2012–2013 s'élève à 2,2 milliards d'Euros. Si la majorité de cette somme sert à l'achat de composants pour la construction de l'infrastructure, une partie du budget est affectée à de la R&D effectuée dans les laboratoires.

Coopération européenne dans le cadre d'Euratom

Le programme Euratom en fusion comprend deux parties: programme national des associations et programme sous l'égide de l'European Fusion Development Agreement (EFDA). Ce dernier inclut l'exploitation scientifique du tokamak européen JET et des activités en vue des réacteurs de démonstration DEMO.

L'Euratom s'attend à ce que les pays contribuent davantage à leurs programmes nationaux pour lui permettre de concentrer ses ressources financières sur le projet ITER, qui deviendra dans la deuxième décennie du XXI^{ème} siècle l'ins-

tallation de pointe pour tous les pays actifs dans la recherche en fusion. Cette politique amène naturellement une baisse de la contribution européenne aux programmes nationaux, comme mentionné dans le rapport de synthèse des années passées.

Euratom et la Suisse

L'Accord de Coopération entre la Confédération suisse et l'Euratom dans le domaine de la fusion, conclu le 14 septembre 1978, est un accord-cadre illimité. Toutefois, l'association de la Suisse à l'Euratom nécessite un renouvellement pour 2012 et 2013.

Le 30 novembre 2011, le Conseil fédéral a autorisé le prolongement de l'association de la Suisse au programme Euratom 2012–2013, sous réserve de l'ouverture des crédits correspondants dans le cadre du premier supplément au budget 2013.

Du point de vue opérationnel, toutes les activités qui dépendent de cet accord d'association se sont déroulées normalement. L'Implementing Agreement sur les activités visant le réacteur DEMO a été signé en 2012 (Implementing Agreement for Power Plant Physics and Technology). L'extension de l'Implementing Agreement pour JET a été également signée en 2012.

Faits saillants de la recherche

En 2012, le CRPP a participé aux activités scientifiques et technologiques du programme Euratom ainsi qu'au projet ITER, notamment au travers de l'agence domestique européenne Fusion for Energy (F4E). Ses recherches en matière de fusion thermonucléaire contrôlée sont effectuées sur plusieurs sites : à l'EPFL, les activités portent sur la physique du confinement magnétique, avec le tokamak TCV, l'expérience de base TORPEX, la théorie et la simulation numérique, la technologie de la fusion liée au chauffage du plasma et la génération de courant par ondes hyperfréquences ; au PSI, les activités sont consacrées à la supraconductivité et aux matériaux. De plus, le CRPP participe aux expériences sur le Joint European Torus (JET), qui reste à ce jour la plus grande expérience de fusion magnétique au monde en opération.

Highlights Recherche et Développement

Tokamak à configuration variable (TCV)

Le TCV est la plus grande installation expérimentale sur le site de l'EPFL. Elle présente deux propriétés uniques au monde : d'une part, la grande flexibilité de sa conception et de son mode d'opération permet la création et le contrôle de plasmas de formes très différentes, ce qui s'avère essentiel pour vérifier les simulations numériques et planifier la géométrie optimale du cœur des futurs réacteurs de fusion ; d'autre part, le système d'injection d'ondes millimétriques afin de chauffer le plasma et générer du courant est caractérisé par une grande souplesse et permet d'orienter la puissance injectée selon des profils spécifiques. C'est en utilisant ces caractéristiques uniques que les recherches sur le TCV se poursuivent. La campagne expérimentale 2012 n'a démarré qu'en novembre, suite à une interruption planifiée, débutant en janvier, destinée à effectuer d'importants travaux de maintenance, notamment la révision complète de l'alternateur.

- L'accent a été mis sur le développement et la démonstration de techniques de contrôle en temps réel, utilisant un nouveau système digital et impactant pratiquement tous les thèmes scientifiques.
- Une nouvelle méthode de mesure de la rotation du plasma, faisant appel à l'asymétrie de l'écoulement dans le sens toroidal, a été mise au point

et testée avec succès sur TCV. Elle a permis d'obtenir une bien meilleure précision, surtout lorsque les vitesses impliquées sont faibles, ce qui limite les techniques standard.

- Il a été montré que l'apparition de barrières de transport internes (régions où le transport turbulent est fortement réduit) n'est pas dû à la stabilisation par le cisaillement des écoulements zonaux : ceux-ci sont en effet nettement insuffisants pour pouvoir jouer un rôle lorsque la barrière de transport apparaît. Sur TCV, il est par contre établi que l'apparition de barrières de transport soit liée au cisaillement inversé des lignes de champ magnétiques.
- TCV a démontré un effet inédit de la forme du plasma sur le comportement des modes localisés au bord. Rappelons que ces modes « Edge Localized Modes (ELM) » se manifestent comme des bouffées de chaleur et de particules qui s'échappent du plasma et pourraient endommager la paroi de la chambre à vide. Cette problématique est identifiée comme une des plus critiques pour le succès d'un réacteur de fusion de type tokamak et fait l'objet d'intenses recherches. Sur TCV, en jouant sur la forme de la partie supérieure du plasma, il a été possible d'augmenter la fréquence de répétition des ELMs d'un facteur 3 (voir Fig.1) et de réduire d'un facteur correspondant la quantité d'énergie expulsée par ces modes.

- La configuration dite « snowflake », créée pour la première fois il y a quelques années sur TCV, a exhibé des propriétés très intéressantes en ce qui concerne les ELMs. Elle permet de répartir la puissance éjectée sur plusieurs points d'impact et de réduire ainsi les dommages potentiels à la paroi. De plus, une plus grande fraction de cette puissance est rayonnée, réduisant la puissance d'impact sur la paroi d'un facteur 2 : la figure 2 montre des profils de rayonnement infrarouge à divers instants et pour des configurations s'approchant de celle du snowflake. L'équipe du TCV qui a étudié cette configuration « snowflake » a reçu en 2012 le prix « R&D 100 Innovation Reward » aux Etats-Unis.

Théorie et simulation numérique

Les activités du groupe de théorie et simulation numérique portent sur les domaines suivants : la turbulence et le transport de chaleur et de particules dans les tokamaks, l'analyse de l'équilibre et de la stabilité MHD (magnéto-hydrodynamique) des tokamaks et stellarators, l'application d'ondes radiofréquence et la prospection et l'optimisation de nouvelles configurations de confinement magnétique. Le CRPP a aussi participé au développement spectaculaire des moyens de calcul à haute performance (HPC). Il est actif tant au niveau de l'EPFL et de l'Arc Lémanique, avec le projet CADMOS BlueGene/Q, qu'au niveau Suisse avec le projet « HP2C » du CSCS, au niveau européen avec le serveur « HPC-FF » de l'EFDA, et au niveau mondial avec le Computational Simulation Centre (CSC) de l'IFERC (Rokkasho, Japon) avec un serveur (HELIOS) de 1,5 PetaFlops dédié à la recherche en fusion. Le CRPP a été sélectionné parmi les tous premiers utilisateurs de HELIOS dans le cadre d'un projet pilote (Lighthouse Project). Par la suite, les projets dirigés ou co-dirigés par des membres du CRPP ont reçu une allocation de 111 millions d'heures de calcul pour la période novembre 2012 – novembre 2013, lors d'un appel à propositions très compétitif. Cela

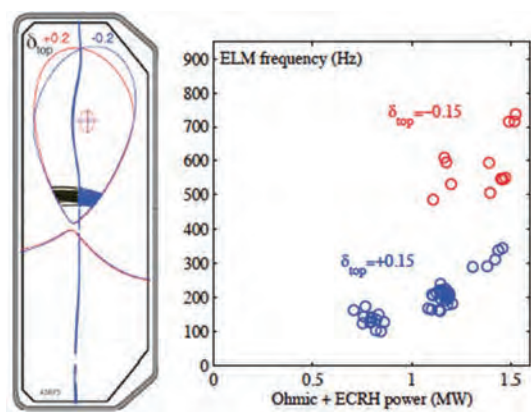


Figure 1 : (A gauche) Deux formes de plasma avec des parties supérieures modifiées. (A droite) Fréquence de répétition des ELMs pour les 2 formes correspondantes en fonction de la puissance totale appliquée.

représente près de 20 % des ressources totales disponibles sur HELIOS.

- Des simulations globales de la turbulence ont été faites d'une expérience spécifique du tokamak TCV. Cette turbulence est caractérisée par des phénomènes d'avalanches et par l'apparition d'oscillations des écoulements zonaux dans la région périphérique du plasma, dont la fréquence et la longueur d'onde ont été comparées avec les mesures expérimentales, donnant un excellent accord. Ceci constitue une étape cruciale de la validation des modèles théoriques.
- Pour la première fois, des simulations globales de la turbulence dans un plasma d'ITER ont été faites (figure en page de titre). Ces simulations ont nécessité une résolution d'un milliard de points de maillage et plusieurs milliards de particules numériques. Le résultat principal est que la forme allongée du plasma d'ITER est favorable à la qualité du confinement : par rapport à un plasma qui aurait la même taille mais une section circulaire, la diffusivité thermique due à la turbulence est considérablement réduite.
- La dynamique des ions et des électrons dans un plasma est très différente, à cause de leur masse respective. Un des effets mis à jour par les simulations numériques est l'apparition de structures dans les écoulements zonaux au voisinage de certaines surfaces bien particulières du plasma, appelées « surfaces rationnelles ». Ces structures, par leur interaction avec la turbulence sous-jacente, résultent en des profils de température et de densité en forme d'escalier.
- De nouvelles limites de stabilité des modes MHD dans des tokamaks en rotation ont été calculées. Il a été montré que des instabilités peuvent se produire même loin des surfaces rationnelles, contrairement aux plasmas sans rotation.
- Les tokamaks ont été conçus pour avoir un axe de symétrie. Cependant, il a été montré que même avec un bord axisymétrique, le cœur du plasma pouvait se déformer en hélice.

Cette brisure spontanée de symétrie a des conséquences sur le transport des ions rapides : ceux-ci sont en effet partiellement expulsés du cœur du plasma.

- La modélisation de la turbulence dans les régions périphériques du plasma (« Scrape-Off Layer », SOL) ont également progressé. Une des difficultés est la présence de lignes de champ magnétique pénétrant la paroi. De nouvelles conditions aux bords, faisant appel à une description mixte fluide et cinétique, ont été implémentées. Des simulations ont ainsi pu être faites de la région du SOL, montrant une transition douce entre les différentes régions
- Des investigations des effets de la taille du plasma sur la turbulence dans le SOL ont été entreprises. L'aspect critique est la détermination de l'épaisseur du SOL, car elle impacte directement le design des composantes de la paroi en contact avec le plasma dans un réacteur.

TORPEX

Le programme de recherches conduit sur la machine TORPEX est motivée par l'étude de la turbulence telle qu'elle a lieu dans le bord du plasma du tokamak, dans un environnement similaire, mais dont la relative simplicité, par rapport au tokamak, a l'avantage de permettre des mesures in situ à haute résolution spatio-temporelle. Mentionnons en particulier :

- Un bon confinement des ions rapides est essentiel au bon fonctionnement d'un réacteur de fusion. Le transport d'ions rapides dans le plasma a été mesuré dans TORPEX et comparé avec des simulations numériques. L'effet de la turbulence a ainsi pu être mis en évidence. Le dispositif expérimental est maintenant prêt à l'étude des différents régimes de transport des ions rapides prédits par la théorie.
- Un nouveau dispositif a été introduit dans TORPEX, sous la forme d'un conducteur placé dans la chambre à vide et produisant, en combinaison avec celui créé par les bobines extérieures, un champ magnétique

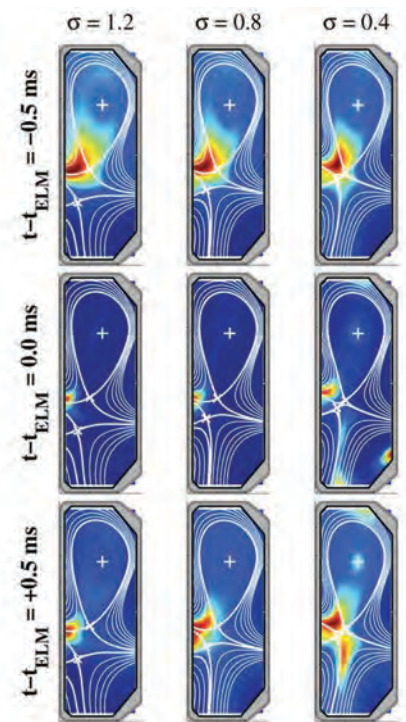


Figure 2 : Rayonnement infrarouge à différents instants (de haut en bas) et pour des configurations s'approchant du « snowflake » (de gauche à droite).

possédant des surfaces magnétiques fermées, comme à l'intérieur d'un tokamak. Le but est de comparer la turbulence dans cette configuration à celle où les lignes de champ magnétique sont ouvertes.

- L'étude des filaments (ou « blobs ») de turbulence s'est enrichie grâce au développement d'une sonde miniaturisée permettant la mesure du courant électrique parallèle associé à la dynamique de ces « blobs ».

Technologie de chauffage

Le groupe gyrotron poursuit ses activités dans le développement de sources RF millimétriques, essentielles pour le bon fonctionnement d'un réacteur de fusion. Le groupe est impliqué dans plusieurs programmes de recherche: le chauffage EC (electron cyclotron) de TCV, le système EC d'ITER et celui du stellarateur W7X. Un effort significatif a porté sur l'extension des capacités de la simulation numérique des sources RF de haute puissance.

- Le développement d'un nouveau code de simulation numérique s'est poursuivi, incluant sa parallélisation. Il a pu être mis en évidence que les gyrotrons de TCV à 118 GHz souffrent d'une instabilité dans le lanceur qui a pour conséquence une diminution de 10% de la puissance RF émise.
- Une campagne expérimentale dédiée à l'étude des instabilités parasites a été entreprise dans le gyrotron de TCV à 118 GHz, qui a été reçu en novembre après réparation.

Dans le cadre du système EC d'ITER, deux projets sont en cours en collaboration avec des laboratoires européens. Le premier porte sur le développement des gyrotrons à 170 GHz délivrant 1 MW que l'UE devra livrer à ITER. Le second concerne le développement de l'antenne qui servira à lancer les ondes électron cyclotron dans ITER.

Science et technologie des matériaux

Les matériaux d'un réacteur à fusion sont soumis au bombardement par des neutrons énergétiques qui produisent des défauts mécaniques ainsi que des transmutations nucléaires. Ces dernières à leur tour affaiblissent les propriétés mécaniques des matériaux. Les activités du groupe « Fusion Technology: Materials » se sont concentrées en 2012 sur :

- l'amélioration des propriétés mécaniques des aciers à activation réduite, grâce à une optimisation des conditions de fabrication;
- une meilleure compréhension des propriétés des matériaux sous irradiation par simulation numérique.

Dans le cadre de l'Approche Élargie (« Broader Approach »), les deux tâches de la Suisse ont été terminées en 2012. Le prototype du « Creep Fatigue Test Module » pour l'installation IFMIF a passé avec succès les tests et a montré qu'il satisfait toutes les spécifications. Le développement des méthodes de tests pour des mini-échantillons a aussi été complété.

Supraconductivité

Le groupe Supraconductivité, localisé au PSI, a poursuivi ses activités dans le test des conducteurs pour ITER sur l'installation Sultan. En 2012, l'ITER Organisation (IO) a signé avec le CRPP un contrat cadre de trois ans qui assure pour tous les partenaires d'ITER la possibilité de tester et de qualifier les conducteurs destinés à ITER. Ces tests concernent les câbles pour les bobines de champ toroïdal, poloïdal, pour le solénoïde central et les bobines de correction. En parallèle avec ces activités, l'installation EDIPO a été mise en marche : elle a été refroidie à la température de l'Hélium liquide à la fin de 2012. Le troisième volet des activi-

tés du groupe est le développement des conducteurs et des bobines pour le réacteur DEMO dans le cadre de l'IA « Power Plant Physics and Technology ». Toutes ces activités de recherche ont abouti en 2012 à une centaine d'articles dans des revues scientifiques à comité de lecture et à une centaine de communications lors de congrès internationaux, dont plusieurs en tant que papiers invités. L'excellence scientifique se manifeste aussi dans la formation : le CRPP a environ 35 doctorants dont plusieurs d'entre eux ont obtenu en 2012 leur titre de doctorat. Enfin, en 2012, le CRPP a maintenu ses tâches d'enseignement de base et ses nombreuses activités de relations publiques visant à expliquer la physique des plasmas et la fusion contrôlée à des non-spécialistes.

L'interaction plasma – paroi dans ITER [1]

Parallèlement aux activités du CRPP, l'Université de Bâle mène des recherches sur les parois du futur ITER. Dans le cadre de l'étude de l'interaction plasma – paroi dans ITER, un point a été spécialement étudié à l'Université de Bâle lors d'un contrat avec ITER IO. Il s'agit de l'étude de nettoyage de miroir utilisé pour transmettre la lumière du plasma dans les diagnostics d'ITER. Ce nettoyage a été réalisé en appliquant un plasma radio fréquence directement sur le miroir.

Collaboration Internationale

Collaboration dans le cadre de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) [9]. La Suisse est signataire de l'Implementing Agreement sur les matériaux pour les réacteurs de fusion. Elle participe également aux autres Implementing

Agreements à travers l'Euratom. Elle est représentée au Fusion Power Coordinating Committee. A travers l'Euratom, le CRPP poursuit des collaborations avec les laboratoires de fusion du monde entier.

References

[1] <http://crppwww.epfl.ch>

[2] <http://pages.unibas.ch/phys-esca>

[3] http://fusionforenergy.europa.eu/index_en.htm

[4] www.iter-industry.ch

[5] www.efda.org

[6] www.iter.org

[7] www.jet.efda.org

[8] L. Marot, E. Meyer, *Uni Basel : Studies related to plasma-wall interaction in ITER (RA/IB)*: <http://nanolino.unibas.ch/pages/research/fusion.htm>

[9] www.iea.org/Textbase/techno/technologies/fusion.asp



Simone Brander

Radioaktive Abfälle



Stollen des FE-Experimentes im Felslabor Mont Terri

Das Felslabor Mont Terri ist ein Forschungslabor bei St-Ursanne im Kanton Jura, wo der Opalinuston als mögliches Wirtsgestein für ein zukünftiges Tiefenlager für radioaktive Abfälle untersucht wird (Quelle: ENSI).

Einleitung

Das Forschungsprogramm *Radioaktive Abfälle* hat zum Zweck, die regulatorischen Forschungstätigkeiten des Bundes zu koordinieren. Im Rahmen des Forschungsprogramms werden neben technisch-naturwissenschaftlichen Projekten auch solche aus geistes- und sozialwissenschaftlichen Bereichen durchgeführt. Das Programm wurde von einer Arbeitsgruppe aus Vertreterinnen und Vertretern des Bundesamtes für Energie (BFE), der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) (seit 2009 Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI), der Kommission Nukleare Entsorgung (KNE) [1], der Kommission für die Sicherheit von Kernanlagen (KSA) [2] sowie einer Fachhochschule

in den Jahren 2006/07 erarbeitet und mit der Arbeitsgruppe des Bundes für die nukleare Entsorgung (Agneb) konsolidiert. Eine Untergruppe der Agneb entwarf im April 2008 einen Zeitplan für die anstehenden Forschungsprojekte und diskutierte deren gegenseitige Abhängigkeiten. An der Agneb-Sitzung vom 12. September 2008 wurde das Forschungsprogramm *Radioaktive Abfälle* verabschiedet. Mit diesem ist der Forschungsbedarf des Bundes im Bereich Entsorgung radioaktiver Abfälle bis ca. 2013 abgedeckt. Das BFE betreut die geistes- und sozialwissenschaftlichen Projekte und das ENSI die regulatorische Sicherheitsforschung. Sowohl das BFE als auch das ENSI initiieren die Projekte

in ihrem Bereich, vergeben die Aufträge und stellen die Finanzierung sicher. Die Agneb begleitet und koordiniert die Umsetzung und Aktualisierung des Forschungsprogramms *Radioaktive Abfälle*. Die einzelnen Forschungsprojekte werden wissenschaftlich begleitet. In diesen Begleitgruppen sind je nach Projekt die entsprechenden Bundesstellen vertreten sowie Hochschulen und weitere Expertinnen und Experten. Im Jahr 2012 bildeten die Themen *Abfallbewirtschaftung im Vergleich, Lagerauslegung, Pilotlager: Auslegung und Inventar, Monitoringkonzept und -einrichtungen* (ENSI) sowie *Gesellschaftliche Veränderung und Entsorgung* (BFE) die Schwerpunkte des Forschungsprogramms.

Programmschwerpunkte

Das Forschungsprogramm *Radioaktive Abfälle* umfasste für die Jahre 2008–2012 die folgenden Schwerpunkte:

- *Langzeitaspekte*: Beobachtungsphase, Wissenserhalt, Markierungskonzepte;
- *Sachplanverfahren geologische Tiefenlager*: Kommunikation mit der Gesellschaft;
- *Wahrnehmung, Meinungsbildung und Akzeptanz*: Werthaltungen und Meinungen;
- *Lagerkonzepte*: Abfallbewirtschaftung im Vergleich, Schutz der Umwelt, Pilotlager, Monitoringkonzepte, Schnell-/Selbstverschluss, erleichterte

Rückholbarkeit, materi- alwissen- schaftliche Fragen, Sicherheitskriterien für lange Zeiträume, Folgen aus Ungewissheiten über Parameter;

- *Ethik/Recht*: Umweltpolitische Fragen, Schutzziele, Gesellschaftliche Veränderung und Entsorgung.

Ausblick

Im Jahr 2013 wird das BFE das Projekt *Umweltpolitische Fragen* aus dem Schwerpunkt Ethik/Recht starten und durchführen.

Für das Projekt *Abfallbewirtschaftung im Vergleich* wird im Jahr 2013 der Abschlussbericht veröffentlicht.

Im Jahr 2013 sollen die beiden Projekte *Lagerauslegung* und *Pilotlager: Auslegung und Inventar* ausgewertet und ein Bericht zu den Ergebnissen erstellt werden. Das Projekt *Monitoringkonzept und -einrichtungen* wird im Jahr 2013 aufgrund des Abschlusses des thematisch und zeitlich parallel laufenden EU-Forschungsprojekts MoDeRn in seine Hauptphase treten. Die im EU-Projekt umfassend erarbeiteten Erkenntnisse sollen bezüglich deren Umsetzbarkeit auf ein schweizerisches geologisches Tiefenlager überprüft werden.

IEA Klassifikation: 4.1 Nuclear

Schweizer Klassifikation: 3.1.2 Radioaktive Abfälle

Highlights aus Forschung und Entwicklung

Wissenserhalt und Markierungskonzepte

Der Bund hat gemäss Kernenergiegesetz (KEG) und -verordnung dafür zu sorgen, dass die Informationen über Tiefenlager langfristig erhalten bleiben. Nach Artikel 40 Absatz 7 des KEG schreibt der Bundesrat «die dauerhafte Markierung des Lagers vor». Damit sollen Informationen über die Lage und den Inhalt eines Tiefenlagers lange über dessen Verschluss hinaus erhalten bleiben.

Um die Markierungsfrage auf internationaler Ebene koordiniert anzugehen, beteiligt sich die Schweiz an einem Projekt der Kernenergie-Agentur (NEA), einem spezialisierten Organ der Organisation für europäische und wirtschaftliche Zusammenarbeit (OECD). Ziel dieses Projekts ist es, bis im Jahr 2013 ein gemeinsames Dokument zu erarbeiten, welches verschiedene Themenbereiche abdecken soll, damit – basierend auf den selben internationalen Standards – jedes Land einen passenden Aktionsplan zusammenstellen kann.

Am 31. Januar 2012 fand eine Telefonkonferenz zur Organisation der April-Sitzung in Paris statt. Zudem wurde beschlossen, eine weitere Umfrage zum Verhältnis «Sicherheit und Markierung» sowie zur Zusammenarbeit mit nationalen Archiven durchzuführen.

An der Projekt-Sitzung vom 10./11. April 2012 in Paris wurde das am Workshop im November 2011 gesammelte Wissen konsolidiert, die Ergebnisse der im Januar lancierten Umfragen präsentiert und ein Workshop im September 2012 konzeptionell vorbereitet.

Am 12./13. September 2012 traf sich die Arbeitsgruppe zum Workshop in Paris. Ziel war es, Input von verschiedenen Fachpersonen zu folgenden Themen zu sammeln: Gründe für die Markierung geologischer Tiefenlager, Wissensverlust und Wiedererlangung des Wissens auf verschiedenen Zeitachsen, die Rolle von nationalen und internationalen Archiven, die Selektion der aufzubewahrenden Information sowie praktische Umsetzungsfragen. Dem Workshop folgte am 14. September 2012 eine Projektsitzung, an welcher die Struktur des Dokuments diskutiert wurde, in welchem die

Projektergebnisse festgehalten werden sollen. Die Arbeitsgruppe einigte sich darauf, mithilfe der Wiki-Technologie einen Pilot zu starten und diesen im April 2013 zu evaluieren.

Werthaltungen und Meinungen

Im Juli 2012 wurde die Broschüre «Anregungen für die Meinungsbildung in den Standortregionen» veröffentlicht. Diese Broschüre fasst die Ergebnisse des Forschungsprojekts «Werthaltungen und Meinungen bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle» zusammen und gibt den Verantwortlichen in den Standortregionen des Sachplanprozesses konkrete Hinweise und Tipps, wie die Meinungen der breiten Bevölkerung in die laufenden Diskussionen einbezogen werden können. Damit konnte das Forschungsprojekt abgeschlossen werden.

Abfallbewirtschaftung im Vergleich

Das ENSI bearbeitet das Projekt *Abfallbewirtschaftung im Vergleich* zusammen mit dem Bundesamt für Umwelt (BAFU), dem Bundesamt für Gesundheit (BAG), sowie der Kommission für nukleare Sicherheit (KNS). Für spezifische Fragestellungen wurden Spezialistinnen und Spezialisten der Nuklearindustrie (Abfallproduzierende und die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Nagra) einbezogen. Das Projekt beinhaltet strategische und technisch-wissenschaftliche Überlegungen zur aktuellen Bewirtschaftung der radioaktiven und nicht-radioaktiven Abfälle. Sie betreffen unter anderem die Abfallminimierung sowie den Umgang mit Organika-haltigen radioaktiven Abfällen und mit metallischen Werkstoffen bei der geologischen Tiefenlagerung.

Die Arbeiten haben bestätigt, dass sich in Hinblick auf die zentralen Fragestellungen des Projekts die folgenden radioaktiven Abfälle als besonders bedeutungsvoll erweisen: Harze, Konzentrate und Mischabfälle aus dem Betrieb der Kernkraftwerke, sowie Abfälle aus der Nachbetriebsphase. Die Zusammensetzung dieser Abfälle (insbesondere Orga-

nika und Metalle) ist bekannt und in den entsprechenden Abfallsortenberichten umfassend dokumentiert.

Organische Abfälle

Bezüglich organischer Abfälle sind die Ionenaustauscherharze (IAH) aus dem Betrieb der bestehenden Kernkraftwerke im Hinblick auf die zentralen Fragestellungen des Projekts massgebend. Sie tragen nach Aufsättigung des verschlossenen Tiefenlagers für schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA) durch mikrobiellen Abbau zur Produktion von Gasen bei, erhöhen durch komplexierende Abbauprodukte die Mobilität der Radionuklide und führen zu einer beschleunigten Degradation der Zementbarrieren im Nahfeld. Als Massnahme zur Reduktion der IAH-Mengen stehen ein optimaler Reaktorbetrieb (d. h. dichter Brennstoff) und der Einsatz von adäquaten (korrosionsresistenten) Werkstoffen im Vordergrund. IAH liessen sich in einem Pyrolyseprozess (evtl. in einer Gemeinschaftsanlage) mineralisieren.

Metallische Abfälle

Bei den metallischen schwach- und mittelaktiven Abfällen (SMA) handelt es sich vorwiegend um Stilllegungsabfälle aus Eisen oder Stahl aus Kernkraftwerken und Grossforschungsanlagen (PSI, CERN). Trennen, dekontaminieren, freimessen [3] und wieder verwenden erweisen sich als Erfolg versprechende und prüfenswerte Massnahmen zur Reduktion der Abfallmengen, die durch die Abfallverursachenden bereits weitgehend umgesetzt wurden. Optimierungspotential besteht ggf. durch das Einschmelzen aktivierter und kontaminierter Metalle (günstigeres Oberflächen/Massen-Verhältnis, weitgehend inaktive Giesslinge zur eventuellen Wiederverwendung, radioaktive Schlacke zur Entsorgung) oder durch eine verlängerte Abklinglagerung (speziell für Stilllegungsabfälle aus Grossforschungsanlagen) über die gesetzlich erlaubten 30 Jahre hinaus.

Hochaktive Abfälle

Bei den hochaktiven Abfällen (verglaste Spaltproduktlösungen aus der Wiederaufarbeitung) und den verbrauchten Brennelementen stammt 98 % der produzierten Gesamtgasmenge von den Lagerbehältern aus Stahl. Deren Vorteile liegen in der einfachen Herstellung und dem zuverlässigen Verschluss, der mechanische Stabilität, der einfachen Handhabung (insbesondere zur Rückholbarkeit) sowie den günstigen geochemischen Eigenschaften des Werkstoffs in Hinblick auf die Langzeitsicherheit des geologischen Tiefenlagers. Als Massnahme zur Reduktion der produzierten Gasmenge steht die Verwendung alternativer Behältermaterialien (Kupferummantelung) oder keramische Werkstoffe im Vordergrund.

Die Schlussfolgerungen aus den Projektarbeiten und die darin enthalten Empfehlungen hinsichtlich alternativer Behandlungsmethoden wurden im Sommer 2012 in einem Berichtsentwurf zusammengefasst und der Projektgruppe zur Stellungnahme unterbreitet. Ferner wurden die Projektergebnisse verschiedenen Organisationen im Rahmen von Fachvorträgen präsentiert. Der definitive Projektbericht wird auf der Grundlage der eingegangenen Review-Kommentare bis Mitte Jahr 2013 fertiggestellt.

Lagerauslegung, Pilotlager: Auslegung und Inventar, Monitoringkonzept und -einrichtungen

Die Kernenergieverordnung (KEV, Art. 64) gibt vor, dass die untertägigen Anlagen eines geologischen Tiefenlagers für radioaktive Abfälle ein Hauptlager, ein Pilotlager und Testbereiche umfassen müssen. Das Pilotlager enthält dabei einen kleinen, aber repräsentativen Anteil des Lagerinventars. Hier wird nach der Einlagerung das Verhalten der Abfälle, der Verfüllung und des Wirtgesteins bis zum Ablauf der Beobachtungsphase überwacht. Die Ergebnisse dienen der Überprüfung des Sicherheitsnachweises und müssen auf die Verhältnisse im Hauptlager übertragbar sein.

Das Kernenergiegesetz fordert vor dem Verschluss eines Tiefenlagers eine Beobachtungsphase (Art. 3 KEG), zu der die Anforderungen in der Kernenergieverordnung (Art. 68 KEV) konkretisiert werden. Der Standort des Lagers wird jedoch bereits vor Beginn der Bauarbeiten zu einem Felslabor (d. h. ab Rahmenbewilligung) überwacht. Das Monitoring während der einzelnen Lagerphasen kann einerseits von der Oberfläche aus, andererseits auf Lagerniveau, d. h. im Hauptlager, in den Testbereichen (Felslabor) und anhand der Messinstrumentierung um das Pilotlager erfolgen. Die Ergebnisse dieser Überwachung dienen der Überprüfung der Annahmen im Sicherheitsnachweis und bilden eine Grundlage für den Entscheid über einen endgültigen Verschluss des geologischen Tiefenlagers.

Im Hinblick auf die Konkretisierung der gesetzlichen Anforderungen, aber auch als wichtige Vorbereitung für die Platzierung eines untertägigen Lagers, der Zugangsbauwerke und Oberflächenanlagen im Rahmen des Sachplans geologische Tiefenlager, hatte das ENSI im Jahre 2010 drei Projekte mit den Titeln *Lagerauslegung*, *Pilotlager: Auslegung und Inventar* sowie *Monitoringkonzept und -einrichtungen* gestartet, die eng miteinander verknüpft sind und sich mit folgenden Aspekten beschäftigen:

Das Projekt *Pilotlager: Auslegung und Inventar* untersucht die notwendigen Anforderungen an das Pilotlager, an dessen Platzierung, Bestückung und die wichtigsten zu überwachenden Parameter. Das Projekt dauert bis Ende 2013. Im Berichtsjahr wurden die Erfahrungen der Langzeitüberwachung aus dem Felslabor HADES in Mol (Belgien) und dem Felslabor Mont Terri im Opalinuston des Juras sowie Limitierungen von installierten Monitoring-Systemen betrachtet und diskutiert. Es wurden die Prozesse behandelt, die in einem geologischen Tiefenlager ablaufen und innerhalb der zeitlich beschränkten Beobachtungsphase in einem Pilotlager tatsächlich gemessen und überwacht werden können. Ausserdem wurde diskutiert, wie mit unerwarteten Resultaten oder Entwicklungen umzugehen ist und was die Er-

wartungen der Gesellschaft an ein Überwachungssystem sein könnten.

Das Projekt *Monitoringkonzept und -einrichtungen* fokussiert auf alle Schritte der Überwachung, angefangen von der dem Bau eines Felslabors vorangehenden Umweltüberwachung bis zur Möglichkeit, nach Verschluss des Lagers die Überwachung fortzusetzen. Das Projekt soll dem ENSI einen möglichst breiten und vollständigen Überblick über mögliche Monitoringkonzepte und Techniken verschaffen. Es soll zudem Entscheidungsgrundlagen liefern, die für die Festlegung der Anforderungen an die Überwachung eines Pilotlagers gestellt werden. Die Aktivitäten des Projekts sind auch 2012 parallel zu den Aktivitäten und Resultaten des internationalen EU-Forschungsprogramms MoDeRn (Monitoring Developments for Safe Repository Operation and Staged Closure) gelaufen, das sich mit allen Aspekten des Monitorings im Umfeld eines geologischen Tiefenlagers auseinandergesetzt hat und im März 2013 mit einer Schlusskonferenz abgeschlossen wird. Die Abschlussberichte zu MoDeRn werden in der zweiten Jahreshälfte 2013 erwartet. Diese sollen auf deren Anwendbarkeit auf geologische Tiefenlager in tonreichen Gesteinen in der Schweiz und das gesetzlich vorgegebene Lagerkonzept geprüft werden. Das Projekt am ENSI wird voraussichtlich bis in die erste Hälfte 2014 dauern.

Das Projekt *Lagerauslegung* beschäftigt sich mit den Grundzügen der Auslegung der verschiedenen Lagerteile, wobei die lokale geologische Situation und die Eigenschaften des gewählten Wirtgesteins zu berücksichtigen sind. Das Projekt dauert bis Ende 2013. An der Projektarbeit beteiligt sind das ENSI und seine Expertinnen und Experten (ETH Zürich und Basler & Hofmann), sowie die Kantone und die Nagra. Im Berichtsjahr wurden die sicherheitstechnischen Aspekte der Zugangsbauwerke betrachtet und festgestellt, dass sowohl Schächte als auch Rampen bautechnisch machbar und auf eine Betriebszeit von 100 Jahren ausgelegt werden können (diese Erkenntnisse wurden in zwei Behördenseminaren mit den Kantonen, der KNS und weiteren Behördenvertretenden diskutiert). Beide

besitzen sicherheitstechnische Vor- und Nachteile, jedoch keine derartigen Nachteile, dass Rampen oder Schächte grundsätzlich zu meiden wären.

Fachliche Diskussionen zu Aspekten beim Auffahren von Einlagerungsfeldern haben die Notwendigkeit von Massnahmenkatalogen zu unerwarteten Ereignissen beim Auffahren oder Sichern aufgezeigt. Methodische Einschränkungen sind angesichts eines Baubeginns in ca. 20 Jahren verfrüht. Die Möglichkeit einer direkten Einlagerung der heute in Gebrauch befindlichen Transport- und Lagerbehälter (Verzicht auf Endlagerbehälter, Verzicht auf eine Verpackungsanlage) wurde diskutiert und aus Sicherheitsgründen klar verworfen. Der bereits im vorangehenden Jahr erstellte Fragenkatalog wurde weiter bearbeitet und es wurde ein Glossar von Tiefenlager-relevanten Begriffen erstellt und kontinuierlich ergänzt.

Gesellschaftliche Veränderung und Entsorgung radioaktiver Abfälle

Das im Frühling 2012 gestartete Forschungsprojekt hat zum Ziel, zuhänden des BFE und des ENSI Empfehlungen zum Umgang mit gesellschaftlichen Veränderungen im Bereich der Entsorgung radioaktiver Abfälle abzugeben. Zum Projekt wurde eine Begleitgruppe unter der Leitung des BFE eingesetzt, die sich im Jahr 2012 zu drei Sitzungen getroffen hat. An der ersten Sitzung vom 26. Juni 2012 wurden verschiedene Szenarien und «Wild Cards» diskutiert und mögliche Namen von Expertinnen und Experten für nachfolgende Interviews gesammelt. Zudem einigte sich die Begleitgruppe darauf, im Rahmen des Forschungsprojekts zukünftige Zustände eines geologischen Tiefenlager (sogenannte «Bilder») zu definieren und sich anschliessend Gedanken dazu zu machen, welche gesellschaftlichen Entwicklungen zu diesen vier Bildern geführt haben könnten. Nach einer Literaturrecherche und 25 telefonischen Interviews präsentierte das Projektteam die vier Bilder (Tiefenlager verschlossen; Tiefenlager in der Beobachtungsphase; Tiefen-

lager politisch gescheitert; Tiefenlager aufgrund technischem Fortschritt nicht mehr notwendig) inkl. ihrer Chancen und Risiken am 26. September 2012 der Begleitgruppe. Anschliessend wurden die vier Bilder in einem interdisziplinär zusammengesetzten Expertenworkshop (25 Teilnehmende) vom 9. November 2012 angereichert. Auch wurde der Frage nachgegangen, welche Entwicklungen zum jeweiligen Bild geführt haben könnten und welche Ereignisse die Entstehung eines Bildes verunmöglicht hätten. An ihrer dritten Sitzung vom 26. November 2012 diskutierte die Begleitgruppe die Gliederung und den Inhalt des Schlussberichts und zog Schlussfolgerungen aus der Forschungstätigkeit. Im ersten Quartal 2013 soll der Forschungsbericht veröffentlicht werden.

Das Forschungsprojekt wurde am SEVAL (Schweizerische Evaluationsgesellschaft)-Jahreskongress 2012 vom 6./7. September 2012 in Fribourg im Rahmen eines Methodenateliers unter dem Titel «Ex ante Evaluationen: Einsatz der Methoden der Zukunftsforschung» als Illustration der «Fallschirmmethode» präsentiert. Der Vortrag stiess auf grosses Interesse und die Projektleitenden erhielten viel positives Feedback.

Nationale Zusammenarbeit

Im Auftrag der Agneb führt das BFE das Forschungssekretariat des Forschungsprogramms Radioaktive Abfälle. Das Forschungssekretariat stellt im Hinblick auf die Umsetzung der geplanten Forschungsprojekte die Koordination mit dem ENSI und den anderen Bundesstellen sicher. Die Umsetzungsgruppe des Forschungsprogramms setzt sich aus Vertretungen von BFE, ENSI, KNS, PSI und Swisstopo zusammen. Zudem wurde das Konzept des Forschungsprogramms *Radioaktive Abfälle* 2008–2012 gemeinsam von BFE und ENSI aktualisiert, von der BFE-Geschäftsleitung zur Veröffentlichung empfohlen

Im elektronischen Newsletter Tiefenlager des BFE wurde im Oktober 2012 die Broschüre «Anregungen für die Meinungsbildung in den Standortregionen» vorgestellt. Zudem erhielten die Mitglieder der Arbeitsgruppe Information & Kommunikation des Sachplanverfahrens geologische Tiefenlager im November 2012 die Resultate des Forschungsprojekts «Werthaltungen und Meinungen bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle» präsentiert und die Broschüre «Anregungen für die Meinungsbildung in den Standortregionen» abgegeben.

Internationale Zusammenarbeit

Radioactive Waste Management Committee

Im März 2012 fand das 45. Treffen des *Radioactive Waste Management Committee (RWMC)* der OECD/NEA in Paris statt. Inhaltliche Schwerpunkte bildeten die Themen «Regulatorische Vorgaben», «Entsorgung von Graphitabfällen» sowie «Entsorgungskosten und Finanzierung». Die Berichterstattung aus diversen Arbeitsgruppen sowie aktuelle Informationen über die Fortschritte und Arbeiten im Bereich Entsorgung der Mitgliedstaaten sowie der IAEA, der OECD und der EU ergänzten die drei Schwerpunkte.

Integration Group of the Safety Case

Im Oktober 2012 fand das 14. Treffen der *Integration Group for the Safety Case (IGSC)* der OECD/NEA in Paris (F) statt. Schwerpunktthema des diesjährigen Treffens war die Analyse und Behandlung der Ungewissheiten und deren Berücksichtigung in einem Sicherheitsnachweis für ein geologisches Tiefenlager. Ausserdem wurden Vorbereitungen für eine Fachtagung im Jahr 2013 getroffen. Die Arbeitsgruppe zu *Characterization, Understanding and Performance of Argillaceous Rocks as Repository Host Formations* traf sich ebenfalls im Oktober 2012 zum Jahres-treffen. Für die Aufdatierung des bestehenden Katalogs von Merkmalen, Ereignissen und Prozessen in Tongesteinen wurde eine Arbeitsplanung erstellt. Dazu wurde beschlossen, im Katalog nur Datensätze zu Tongesteinen zu berücksichtigen, die als Wirtsgesteine für geologische Tiefenlager mit Hilfe aktuellster Methoden erhoben worden sind.

Forum on Stakeholder Confidence

In Prag (CZ) fand 2012 das 13. jährliche Treffen statt. Schwerpunkte bildeten der Informationsaustausch über die Tätigkeiten des RWMC, Berichte aus den Mitgliedsländern sowie die Vorstellung zweier Projekte der Europäischen Kommission: *International Socio-Technical Challenges for Geological Disposal and Implementing Public Participation Approaches in Radioactive Waste Disposal*. Es zeigte sich einmal mehr, dass die Bürgerbeteiligung in den Mitgliedsländern sehr unterschiedlich angegangen wird und es dafür kein universales Erfolgsrezept gibt. An einem zusätzlichen tschechischen Workshop mit nationalen und internationalen Beteiligten wurde neben der Information über

das Auswahlverfahren in Tschechien und Vorträgen/Diskussionen zum Thema Partizipation auch der Austausch unter den lokalen und internationalen Akteuren gefördert.

Im Vergleich zum Sachplan geologische Tiefenlager in der Schweiz beruht das Auswahlverfahren in Tschechien auf Freiwilligkeit. Es werden nur Bohrungen in den Standortregionen durchgeführt, wenn alle betroffenen Gemeinden zustimmen. Neben der daraus resultierenden Unsicherheit für das Verfahren, bestehen weitere Herausforderungen wie z. B. die noch nicht abschliessend geklärten rechtlichen Grundlagen, unklare Rollenteilung der involvierten Institutionen und die teilweise nur oberflächliche Definition des Prozesses.

International Conference on Geological Repositories

In Toronto fand 2012 die 4. International Conference on Geological Repositories mit dem Titel «National Commitment – Local and Regional Involvement» statt. Schwerpunkte bildeten die Themenblöcke Sicherheit von geologischen Tiefenlagern, die Vorgehensweise der Entsorgungspflichtigen in verschiedenen Ländern, die gesellschaftspolitischen Erwartungen und Herausforderungen sowie die Erfahrungen von Gemeinden und Standortregionen. Vertreterinnen und Vertreter von BFE, ENSI und Nagra nahmen an drei Themenblöcken als Referenten und Diskussionspartnerinnen teil.

Internationale Zusammenarbeit: ENSI

Die Mitarbeit in nationalen Kommissionen im Ausland sowie internationalen Arbeitsgruppen bietet dem ENSI Gelegenheit, alle relevanten Fragestellungen im Bereich der Entsorgung in geologischen Tiefenlagern im europäischen Rahmen zu verfolgen und bezüglich Stand von Wissenschaft und Forschung über die aktuellen Entwicklungen informiert zu bleiben. Die Resultate dieser Arbeiten fliessen in die Begutachtung im Rahmen des Sachplans geologische Tiefenlager ein.

Neben der Beteiligung des ENSI an der internationalen Forschung im Felslabor Mont Terri engagiert sich das ENSI im Rahmen internationaler Programme zur Entsorgung (EU-Projekte) und arbeitet in verschiedenen internationalen Gremien mit.

Referenzen

[1] Per Ende 2011 wurde die KNE deshalb aufgelöst. Ihre Nachfolgeorganisation, die Expertengruppe Geologische Tiefenlagerung EGT, existiert seit 2012.

[2] Per 1. Januar 2008 aufgelöst.

[3] Tätigkeiten zur Entlassung von Material aus dem Geltungsbereich der Strahlenschutzverordnung; insbesondere der Nachweis und die Dokumentation, dass ein Material nicht mehr radioaktiv ist.

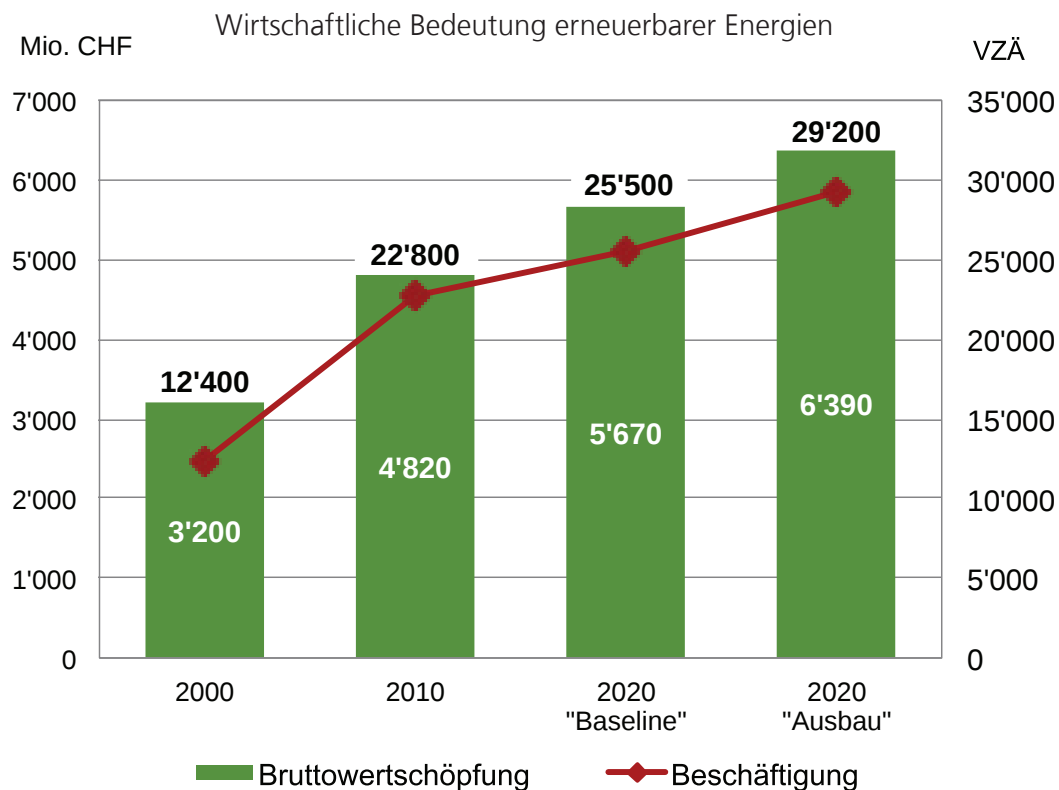


Querschnittsprogramme Programmes Transverseaux



Nicole A. Mathys

Energie – Wirtschaft – Gesellschaft



Wirtschaftliche Bedeutung erneuerbarer Energien

Entwicklung der Bruttowertschöpfung und Beschäftigung (VZÄ: Vollzeitäquivalente) durch erneuerbare Energien im Zeitraum 2000–2020.

Einleitung

Als Querschnittsprogramm befasst sich *Energie–Wirtschaft–Gesellschaft* (EWG) mit ökonomischen, soziologischen, psychologischen sowie politologischen Fragestellungen über die ganze Wertschöpfungskette der Energie hinweg. Auf der Umwandlungsseite erlaubt dies, die verschiedenen Energietechnologien, sowohl für effiziente Energienutzung als auch erneuerbare und konventionelle Energien nebeneinander zu stellen. Auf der Konsumentenseite wird energierelevanten Verhalten detailliert analysiert und es wird versucht, die treibenden Ursachen des Energieverbrauches zu identifizieren.

Energiemärkte weisen verschiedene Unvollkommenheiten auf, was dazu führen kann, dass nur durch Intervention des Staates volkswirtschaftlich effiziente Resultate möglich sind. In diesen Fällen ist die Intervention des Staates nötig. Marktlücken können zum Beispiel durch folgende Aspekte hervorgerufen werden. (i) Energie ist ein essenzielles Gut, das heisst: für jede wirtschaftliche Aktivität wird Energie benötigt. Dadurch steht nicht nur der Preis, sondern auch die Versorgungssicherheit und der Service Public im Fokus. (ii) Leitungsgebundene Energieträger haben die Eigenschaft eines natürlichen Monopols, da der Bau von parallelen Netzen nicht wirtschaft-

lich ist. (iii) Viele Entscheide sind durch lange Investitions- und Nutzungsdauern gekennzeichnet. In solchen Fällen müssen die Akteure langfristige Prognosen annehmen. Dies bringt zwei Arten von Schwierigkeiten mit sich. Erstens muss mit Unsicherheit umgegangen werden und zweitens müssen Geldflüsse in der Gegenwart mit solchen in der Zukunft verglichen werden. (iv) Viele technische Energiesysteme bergen die Gefahr massiver Unfälle, welche u. U. nicht durch den Verursacher getragen werden können und die öffentliche Sicherheit beeinträchtigen können. Der Staat ist daran interessiert, diese Risiken zu minimieren. (v) Die Nutzung vieler Energieträger führt zu Emissionen von Schadstoffen. Zurzeit sind die negativen Effekte dieser Emissionen noch nicht in den Preisen reflektiert (Externalität), was zu nicht optimalen Anreizen bei den Akteuren führt. (vi) Die oben genannten Schadstoffemissionen (z. B. CO₂-Emissionen) und die Knappheit der fossilen Energieträger rücken schlussendlich auch Entscheidungen betreffend der Generationengerechtigkeit ins Licht. Energiepolitik ist aus all diesen Gründen nötig. Sie versucht gleichzeitig so verschiedene Ziele wie Versorgungssicherheit, Preiswürdigkeit, Gesellschaftliche Gerechtigkeit und Umweltverträglichkeit zu erfüllen.

Die in den nächsten Jahren und Jahrzehnten anstehenden Änderungen des Energiesystems und somit der Gesellschaft und der Wirtschaft werden zu Strukturänderungen, und damit zu gesellschaftlichem Nutzen aber auch volkswirtschaftlichen Kosten, führen. Die Identifikation von optimalen Instrumenten, welche die gewollten Anreize geben, zur Zielerreichung führen und gleichzeitig die Kosten für die Volkswirtschaft so niedrig wie möglich halten, ist daher unerlässlich. Ein besseres Verständnis von Aspekten, welche über die technischen Möglichkeiten hinaus gehen und das individuelle und unternehmerische Verhalten und somit die Märkte beeinflussen, ist die nötige Basis für die Konzipierung effizienter Massnahmen.

Das im Forschungsprogramm erarbeitete Wissen ist die Grundlage für die Behandlung sowohl politischer Geschäfte als auch für die längerfristige Ausrichtung der Energiepolitik und die Weiterentwicklung der internationalen Energieforschung.

IEA Klassifikation: 7.2 Other

Schweizer Klassifikation: 4.1 Energiewirtschaftliche Grundlagen

Programmschwerpunkte

Das Forschungsprogramm *Energie-Wirtschaft-Gesellschaft (EWG)* befasst sich mit den energiepolitischen Rahmenbedingungen und dem Verhalten der Akteure auf der Angebots- und Nachfrageseite in den drei Wirtschaftssektoren «Haushalte» (Gebäude und Elektrogeräte), «Verkehr», «Dienstleistungen und Industrie», wie sie auch den Perspektivmodellen zu Grunde liegen. Dazu kommt der Schwerpunkt «Energieumwandlungssektor», in welchem spezifische Fragen betreffend der Strom- und Wärmeerzeugung sowie der Energieverteilung adressiert werden. Forschungsarbeiten im Bereich «Innovation und Adoption» sollen zu einem besseren Verständnis der Generierung und Übernahme von neuen Technologien und Konzepten führen. Studien, welche politische, ökonomische und sozialen Rahmenbedingungen und deren Effekte sektorübergreifend analysieren, sind im Bereich «sektorübergreifende Energiepolitik» zusammengefasst. Da dieselben Akteure auf verschiedenen Märkten tätig sind und die knappen Ressourcen in verschiedenen Bereichen verwendet werden können, ist es wichtig, das Verhalten der Marktakteure und das Zusammenspiel der Märkte besser zu verstehen. Zusätzlich werden verschiedene energierelevante Inputdaten und Informationen erarbeitet und den Forschern zur Verfügung gestellt. Dies erlaubt es, vergleichbare Ausgangslagen zu schaffen. Das Forschungsprogramm *EWG* initiiert und begleitet sowohl angewandte Forschungsarbeiten an den Hochschulen als auch politiknahe Projekte zusammen mit Beratungsfirmen.

Rückblick und Bewertung 2012

Das Forschungsprogramm hat auch dieses Jahr eine breite Palette von unterschiedlichen Projekten unterstützt. Folgende Aktivitäten, welche über das Übliche hinaus gehen, sollen hier hervor gehoben werden.

- Zu Beginn des Jahres fand eine offene Ausschreibung statt. Es wurden fast dreissig Projekte eingereicht, wobei knapp ein Drittel davon Unterstützung von *EWG* erhielten. In den nächsten 2–3 Jahren werden spannende Resultate aus diesen, vorwiegend durch Kooperationen und unter Mitarbeit von Doktoranden, geleisteten Arbeiten erwartet.
- In der Schweizerischen Zeitschrift für Volkswirtschaft und Statistik wurde eine Spezialausgabe zu Energie und Umweltmodellierung publiziert. Die EPFL und das BFE waren als Editoren dieser Ausgabe tätig.

Ausblick

Viele der aktuellen Projekte werden auch im Jahr 2013 weiterlaufen. Gleichzeitig werden neue Schwerpunkte für die Jahre 2013–2016 gesetzt. *EWG* soll auf drei verschiedenen Ebenen inhaltlich zum Gelingen der Energiewende beitragen.

- *EWG* untersucht innerhalb jedes des im Konzept der Energieforschung des Bundes 2013–2016 beschriebenen Schwerpunkte das menschliche Verhalten und das Funktionieren der Märkte. Dies dient dazu, besser zu verstehen, welches die Beweggründe der jeweiligen Akteurinnen und Akteure sind und wie spezifische energiepolitische Instrumente wirken.

- *EWG* stellt den Zusammenhang zwischen den einzelnen Forschungsschwerpunkten her und zeigt die relativen Potenziale und Kosten auf. Sowohl wirtschaftlich wie auch gesellschaftlich sind die einzelnen Schwerpunkte eng miteinander verbunden. Langfristig effiziente Lösungen müssen deshalb schwerpunktübergreifend angesetzt werden.
- *EWG* hat die Aufgabe, über die einzelnen Forschungsschwerpunkte hinaus, die politischen, ökonomischen und sozialen Rahmenbedingungen und deren Effekte zu analysieren. Forschung, die dazu dient, das Verhalten der Marktakteure und das Zusammenspiel von verschiedenen Märkten besser zu verstehen, ist unabdingbar. So sind zum Beispiel gesamtwirtschaftliche Modelle ein wichtiges Arbeitsinstrument, um die ökonomischen Effekte von möglichen Energieszenarien abzuschätzen.

Die sozio-ökonomische Forschung kann mit jeder der drei Ebenen einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der Energievision leisten. Anhand konkreter Fragestellungen soll das Verständnis erhöht werden, indem die Modelle, das Design von Experimenten, die Schätzmethoden sowie auch die Datengrundlagen verbessert werden.

Highlights aus Forschung und Entwicklung

Die folgenden drei Highlights geben einen guten Überblick über die spannenden und vielfältigen Fragestellungen, welche im Forschungsprogramm adressiert werden.

Energieinvestitionen und heterogene Präferenzen

Investitionen in Energieeffizienz, wie beispielsweise energieeffizientes Bauen und Renovieren, können einerseits aus finanzieller Sicht des Investors sinnvoll sein, andererseits können sich solche Investitionen auch als positiv für die Gesellschaft erweisen. Es stellt sich daher die Frage, welche Motive für Investitionen in Projekte mit einem solchen «Öffentlichen-Gut»-Charakter wichtig sind. Ziel des Projektes «Energieinvestitionen und heterogene Präferenzen» war es zu untersuchen, was Personen motiviert derlei Investitionen zu tätigen.

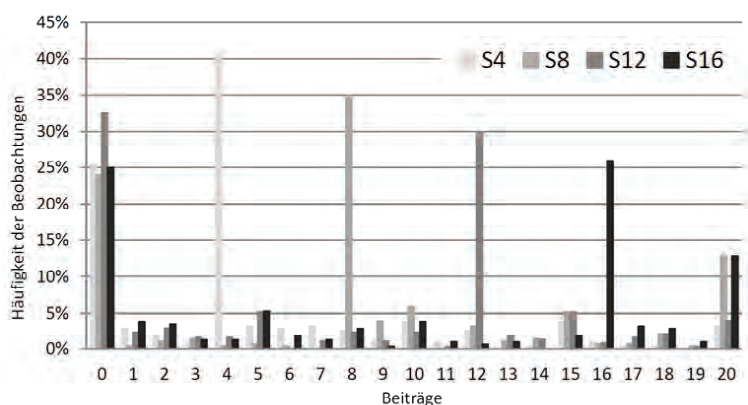
Zunächst wurde in zwei Studien der «Öffentliche-Gut»-Charakter von Energieinvestitionen in ökonomischen Entscheidungsexperimenten abgebildet. Hierbei wurden zum einen die Rolle freiwilliger Mindeststandards und zum anderen die Rolle der Ungleichheit im Nutzen (Nutzer profitieren unterschiedlich von verbesserter Umweltqualität) aus den Investitionen untersucht.

Die erste Studie zeigt, dass freiwillige Standards Transparenz über das Investitionsverhalten fördern und auf diese Wei-

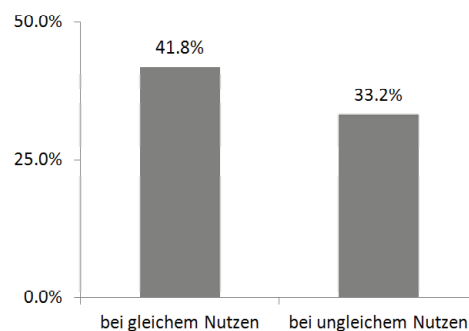
se Akteure zu mehr Investitionen bewegen können. Figur 1 verdeutlicht dabei, dass mehr als 40 % der Teilnehmer im Experiment dazu bereit waren, geringe Standards durch entsprechende Beiträge zu erfüllen. Bei einem sehr hohen Standard sank zwar die Bereitschaft den Standard zu erfüllen – es waren lediglich noch 25 % der Teilnehmer, die den Standard erfüllten – jedoch waren die Gesamtinvestitionen beim anspruchsvolleren Standard höher. Somit sollten freiwillige Standards relativ hohe Anforderungen zu ihrer Erreichung stellen. In der Praxis kann als ein erfolgreiches Beispiel der Minergie-Standard für Gebäude genannt werden, der Investitionen transparenter macht und ein hohes Energieeffizienzniveau garantiert. Dies führt dazu, dass nicht nur mehr Klarheit über die individuellen Einsparungen durch Renovierungen geschaffen wird, sondern auch mehr Transparenz bezüglich Umweltfreundlichkeit von Renovationen entsteht. Diese Transparenz kann insbesondere umweltbewusste Menschen davon überzeugen, energetische Renovierungen vorzunehmen.

Die zweite Studie befasst sich mit der Tatsache, dass unterschiedliche Gesellschaftsmitglieder unterschiedlich stark von der lokalen Umweltqualität profitieren, die durch Investitionen in Energieeffizienz hervorgerufen wird. Hierbei wurde untersucht, inwieweit die Ungleichheit im Nutzen sich negativ auf das Investitionsverhalten auswirkt. Wie Figur 2 verdeutlicht, sorgt die Ungleichheit im

Nutzen im Entscheidungsexperiment dafür, dass die Investitionen zurück gehen. Allerdings konnte auch gezeigt werden, dass hauptsächlich die Erwartungen bezüglich der Investitionen anderer zurückgingen, nicht aber die grundsätzliche Investitionsbereitschaft. Dieses Ergebnis könnte beispielsweise in Kommunikationskampagnen Anwendung finden. Aufbauend auf den Erkenntnissen aus den Entscheidungsexperimenten wurde eine dritte Studie mit insgesamt 630 Schweizer Hauseigentümern durchgeführt, die der Frage nachgeht, inwiefern Unterschiede in Energieinvestitionen durch Unterschiede in den Präferenzen der Hauseigentümer erklärt werden können. Im Mittelpunkt standen dabei Risikoeinstellungen, Zeitpräferenzen, Einstellungen zu Umweltfragen, Grosszügigkeit und Präferenzen für Gleichheit. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass insbesondere Risiko- und Zeitpräferenzen, aber auch Einstellungen zu Umweltfragen von Bedeutung sind, während Grosszügigkeit und Präferenzen für Gleichheit eine untergeordnete Rolle für das Renovationsverhalten zu spielen scheinen. Es waren insbesondere Personen mit grosser Risikobereitschaft, die Renovationen vornahmen. Dies steht im Einklang mit der Tatsache, dass Renovationen häufig als risikoreiche Investition wahrgenommen werden. Desweiteren konnte gezeigt werden, dass die energetische Qualität der Häuser die Zeitpräferenzen der Eigentümer widerspiegelt. Personen, die in der Studie eher bereit dazu waren, auf eine zeitnahe finanzielle



Figur 1: Beiträge zum öffentlichen Gut für unterschiedliche freiwillige Standards (S4= geringer Standard, S16 = sehr hoher Standard).



Figur 2: Investitionen in das öffentliche Gut (in % möglicher Investitionen).

Entlohnungen für die Teilnahme zu verzichten, um später eine höhere Auszahlung zu erhalten, besessen mit höherer Wahrscheinlichkeit Häuser mit guter Energiequalität.

Basierend auf diesen Resultaten kann einerseits eine Kommunikationspolitik empfohlen werden, die versucht, wahrgenommene Risiken für zukünftige Erträge durch entsprechende Kommunikationskampagnen zu reduzieren. Andererseits zeigen die Ergebnisse, dass leasing-ähnliche Finanzierungsmodelle, welche gegenwärtige Risiken für Investoren vermindern und zukünftige Einsparungen aus energetischen Renovierungen vergewärtigen, ein vielversprechendes Instrument zur Steigerung von energetischen Renovierungen darstellen können. Somit könnten die an der Finanzierung beteiligten Institutionen nicht nur an den Kosten der Renovierung, sondern auch an den Einsparungen durch die energetischen Sanierungen beteiligen.

Réseaux intelligents de transport/transmission d'électricité en Suisse

Le projet Réseaux intelligents de transport/transmission d'électricité en Suisse (RITES) a permis d'évaluer le rôle que pourraient avoir les technologies de réseau dites intelligentes (« Smart Grids »), dans la généralisation de l'usage des énergies renouvelables en Suisse.

Cette étude se place dans le contexte de l'arrêt programmé de la production d'électricité d'origine nucléaire en Suisse. Afin de pallier la baisse subéquente de production électrique, il est non seulement nécessaire que l'efficacité énergétique progresse mais aussi que la production d'électricité à partir de sources renouvelables augmente. Or une large pénétration des énergies renouvelables peut se révéler être problématique en raison de l'intermittence intrinsèque des productions solaires et éoliennes.

Dans un tel contexte, assurer l'équilibre offre-demande devient une tâche complexe. Un changement radical de paradigme semble se dessiner. Alors que traditionnellement la production

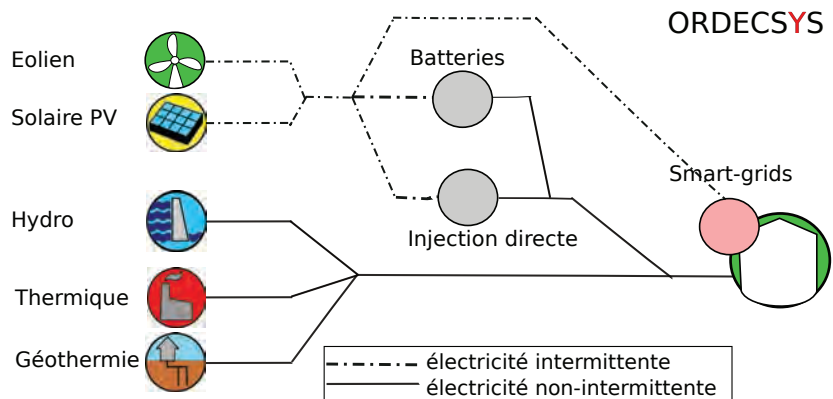


Figure 3 : Gestion de l'électricité intermittente.

était adaptée à la demande, la situation s'inverse actuellement. En effet, si les renouvelables pénètrent de façon substantielle, faire varier la production peut s'avérer difficile. Il est alors souhaitable d'envisager une adaptation partielle de la demande à l'offre en déplaçant certains des usages qui sont susceptibles de l'être. Le potentiel de cette stratégie, connue sous le nom de Demand-Response, réside notamment dans les « white devices », c'est-à-dire les appareils ménagers de type lave-vaisselle, frigos, congélateurs, climatisations, etc. ainsi que potentiellement dans la gestion de la charge des véhicules hybrides rechargeables.

La stratégie de Demand-Response permet donc à la fois de déplacer les usages hors de la période de pointe (effacement) et de stocker de l'énergie, par exemple dans les batteries de véhicules électriques (Vehicle to Grid, V2G), afin de la restituer lors des périodes de forte demande. Elle permet ainsi une intégration facilitée des énergies intermittentes.

Le projet a consisté en l'évaluation de l'efficacité avec laquelle les technologies de « Smart Grid » ouvrent plus largement l'accès au réseau aux énergies renouvelables. Dans ce but, un modèle prospectif techno-économique englobant tous les usages énergétiques a été créé, ce pour deux régions: l'Arc Lémanique et le Canton de Berne, toutes deux subdivisées selon les distributeurs d'électricité locaux. Dans ce modèle,

les demandes en usages énergétiques sont renseignées ainsi que leur évolution jusqu'en 2050, cette dernière étant calculée à l'aide d'indicateurs tels que le PIB ou la variation de la population. Le modèle dispose alors d'un catalogue de technologies pour satisfaire les diverses demandes, dans le but de minimiser le coût global du secteur énergétique et de satisfaire certaines contraintes, notamment en termes d'émissions. Les technologies diffèrent selon les coûts par unités de capacité, les coûts fixes et variables, le temps de vie, la disponibilité, etc.

La production d'énergie d'origine intermittente peut alors pénétrer sur le marché si elle n'est pas trop importante. Les technologies de « Smart Grid » et de stockage permettent au modèle de générer une quantité plus importante d'électricité intermittente puisque celle-ci peut alors être gérée par le mécanisme de Demand-Response. La figure 3 illustre la gestion de l'électricité intermittente. Il est alors possible de comparer la pénétration des énergies renouvelables intermittentes selon que les technologies de « Smart Grid » sont déployées ou non.

L'étude tend notamment à montrer que dans le scénario « Politisches Massnahmenpaket », dans lequel les demandes diminuent en raison de mesures législatives, la part d'énergie intermittente dans les deux régions modélisées ne devient importante que dans le cas où le réseau électrique est promu à un « Smart Grid ». Les gains subséquents, dus

Puissance de production installée [GW]

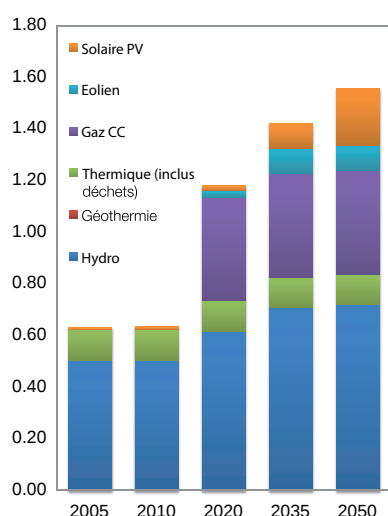
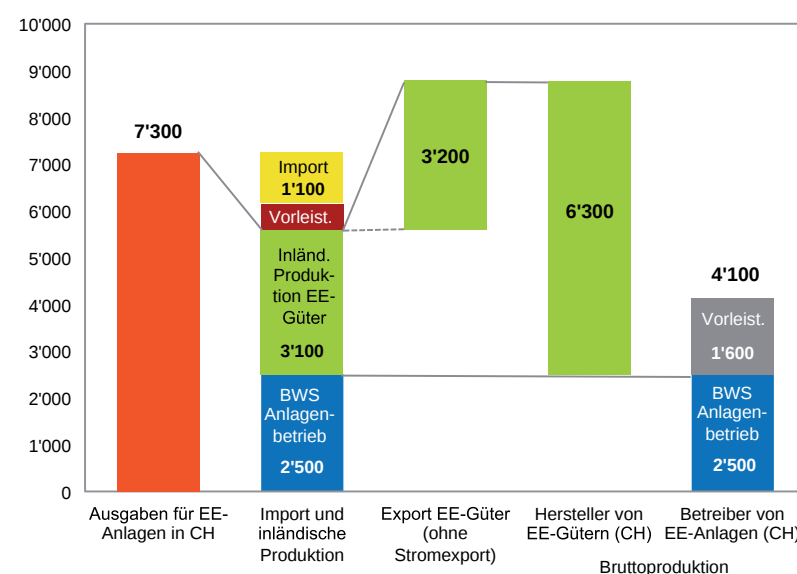


Figure 4 : Augmentation de la capacité installée.

Mio. CHF



Figur 5: Zusammenhang zwischen Ausgaben für Schweizer EE-Anlagen und Produktion der Schweizer EE-Branche, 2010.

au faible coût marginal de production des énergies renouvelables, se montent environ à 300 Mios CHF pour chacune des deux régions modélisées. La figure 4 illustre l'augmentation de la capacité installée provenant de sources renouvelables dans l'une des sous-régions étudiées dans le cas avec « Smart Grid ». Toutefois, l'étude ne comptabilise pas le coût du déploiement du réseau de fibre optique nécessaire à l'établissement du « Smart Grid ». Le coût de ce dernier est complexe à évaluer, puisque son utilisation servirait non seulement au transfert d'informations relatives au réseau électrique, mais aussi aux services de type téléphonie, Internet, etc. Il est prévu d'étendre le modèle à l'ensemble du territoire suisse.

Wirtschaftliche Bedeutung erneuerbarer Energien in der Schweiz

Erneuerbare Energien (EE) gewinnen für die Energieversorgung zunehmend an Bedeutung. Mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien wird in der Volkswirtschaft ein Strukturwandel angestoßen, der eine Verlagerung von der Nutzung

konventioneller Energien hin zu erneuerbaren Energien mit sich bringt. Das Ziel des Projektes war, die wirtschaftliche Bedeutung der Nutzung erneuerbarer Energien anhand der Bruttowertschöpfung, Beschäftigung und Exportvolumen zu ermitteln. Neben der direkten wirtschaftlichen Bedeutung wurden auch die indirekten Effekte berücksichtigt, die bei anderen Unternehmen ausgelöst werden.

Zur Untersuchung der wirtschaftlichen Bedeutung der erneuerbaren Energien wurde ein kombinierter nachfrage- und angebotsorientierter Ansatz gewählt. Zum einen wurden die Ausgaben zur Nutzung erneuerbarer Energien in der Schweiz bestimmt. Zum anderen wurden die Unternehmen, die im Bereich erneuerbare Energien tätig sind, schriftlich zu ihren wirtschaftlichen Aktivitäten befragt. Die Ergebnisse beider Arbeitsschritte wurden zur Bestimmung der direkten wirtschaftlichen Bedeutung zusammengeführt. Dabei wurde die gesamte mit der Nutzung erneuerbarer Energien verbundene Wertschöpfungskette von der Planung über den Anlagenbau bis zum Anlagenbetrieb einbezogen. Die indirekten Effekte wurden mit einem volkswirtschaftlichen Input-Output-Modell geschätzt.

Die Studie untersucht einerseits die Entwicklung zwischen 2000 und 2010. Die zukünftige wirtschaftliche Bedeutung erneuerbarer Energien im Jahr 2020 wurde andererseits mit zwei Szenarien betrachtet. Die Szenarien stützen sich für nationale Entwicklungen auf die Energieperspektiven 2050 des BFE und für globale Trends auf den World Energy Outlook der IEA. Das Baseline-Szenario orientiert sich dabei am Szenario «Weiter wie bisher» der Energieperspektiven. Das Ausbau-Szenario entspricht dem Szenario «Politisches Massnahmenpaket» und der Stromangebotsvariante C&E.

Die wirtschaftliche Bedeutung der Schweizer Erneuerbare-Energien-Branche hängt im Wesentlichen von den Ausgaben für Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Inland, den Importen von Anlagen, Komponenten und Dienstleistungen sowie den Exporten dieser Güter durch Schweizer Unternehmen für Anlagen im Ausland ab. Figur 5 zeigt den Zusammenhang zwischen den Ausgaben für EE-Anlagen in der Schweiz und der Produktion der Schweizer EE-Branche im Jahr 2010. Die weiteren Ergebnisse zeigen, dass die Schweizer EE-Branche im Jahr 2010 eine direkte Bruttowertschöpfung von 4,8 Mrd. CHF

erzielte. Diese Leistung wurde von 22'800 Beschäftigten (VZÄ) erbracht. Damit beträgt der Anteil der Branche am Bruttoinlandsprodukt (BIP) der Schweiz rund 0,9 % und ihr Anteil an der Gesamtbeschäftigung rund 0,6 %. Die EE-Branche hat im Vergleich mit der Gesamtwirtschaft eine überdurchschnittlich hohe Arbeitsproduktivität. Dies ist vor allem auf die kapitalintensive Wasserkraft zurückzuführen. Figur 6 zeigt die Aufteilung von Wertschöpfung und Beschäftigung auf die einzelnen Technologien.

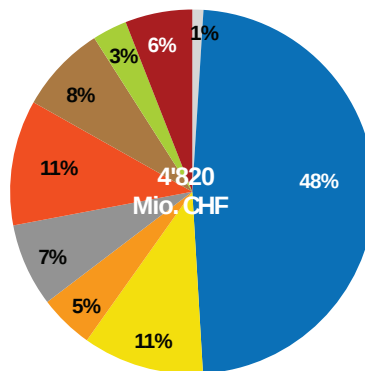
Die direkte wirtschaftliche Bedeutung der EE-Branche ist massgebend für den Vergleich mit anderen Branchen oder der gesamten Volkswirtschaft. Die indirekten Effekte zeigen zusätzlich, wie die Branche mit den übrigen Branchen der Schweiz verflochten ist. Werden direkte und indirekte Effekte addiert, so beträgt die durch die EE-Branche ausgelöste Wertschöpfung rund 8 Mrd. CHF oder 1,5 % des BIP. Zur direkten Wertschöpfung kommen so rund zwei Drittel indirekt hinzu. Bei der Beschäftigung ist der Anteil der indirekten Effekte deutlich grösser. Insgesamt sind rund 46'000 Vollzeitäquivalente bzw. rund 1,2 % der Gesamtbeschäftigung mit der Nutzung erneuerbarer Energien verbunden.

Zwischen 2000 und 2010 ist die wirtschaftliche Bedeutung erneuerbarer Energien im Vergleich zur Gesamtwirtschaft überdurchschnittlich stark gewachsen. Die Bruttowertschöpfung stieg von rund 3,2 Mrd. CHF auf 4,8 Mrd. CHF (+50 %), die Zahl der Beschäftigten von 12'400 auf knapp 22'800 (+75 %). Der wesentliche Treiber für dieses Wachstum war der Export, der mit mehr als 12 % pro Jahr deutlich stärker zunahm als die inländischen Ausgaben für EE-Anlagen, die immerhin ein Wachstum von knapp 5 % pro Jahr aufwiesen (siehe Titelbild).

Im Ausbau-Szenario steigt die Wertschöpfung der EE-Branche bis 2020 auf 6,4 Mrd. CHF oder 1,1 % des Schweizer BIP, die Beschäftigung auf gut 29'000 Vollzeitstellen oder 0,7 % der gesamten Beschäftigung in der Schweiz (siehe

Bruttowertschöpfung EE-Branche

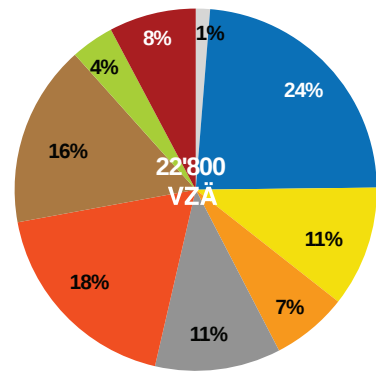
Anteil am BIP der Schweiz = 0,9 %



- Windenergie
- Photovoltaik
- Wärmepumpen
- Holzheizungen (<= 50 kW)
- Abfallverbrennung

Beschäftigung EE-Branche

Anteil an Gesamtbeschäftigung der Schweiz = 0,6 %



- Wasserkraft
- Solarthermie (Wärme)
- Holzfeuerungen (> 50 kW)
- Biogasanlagen

Figur 6: Direkte Bruttowertschöpfung und Beschäftigung in der EE-Branche der Schweiz nach Technikfeldern, 2010.

Titelbild). Absolut steigt die Wertschöpfung in ähnlichem Ausmass wie zwischen 2000 und 2010. Die durchschnittlichen jährlichen Wachstumsraten sind kleiner als zuvor, jedoch deutlich höher als die bis 2020 für die Gesamtwirtschaft erwarteten Wachstumsraten. Im Base-line-Szenario fällt das Wachstum bis 2020 kleiner aus als im Ausbau-Szenario.

Die Ergebnisse der Modellrechnungen für die Entwicklung bis 2020 zeigen die sog. Bruttoeffekte. Sie sind nicht als Nettowirkungen einer Förderung erneuerbarer Energien zu verstehen. Dazu wären zusätzlich die negativen Effekte aus der Verdrängung konventioneller Energien und gesamtwirtschaftliche Kreislauf- und Innovationseffekte zu berücksichtigen.

Die vorliegende Studie schafft Transparenz zur Erneuerbare-Energien-Branche und liefert Grundlagen zur Schätzung der Wirkungen verschiedener Einflussfaktoren. Der methodische Ansatz, der nachfrage- und angebotsseitige Informationen verbindet, kann auch dazu eingesetzt werden, die künftige Entwicklung der EE-Branche und ihrer wirtschaftlichen Bedeutung im Sinne eines Branchen-Monitorings zu verfolgen und zu analysieren.

Nationale Zusammenarbeit

Im Rahmen des Forschungsprogramms Energie–Wirtschaft–Gesellschaft wird eine intensive Zusammenarbeit mit privaten Forschungsstellen, Universitäten, Fachhochschulen, Instituten, anderen BFE-Forschungsprogrammen, anderen Bundesämtern und Kompetenzzentren gepflegt. Weiter wird auf eine intensivere Vernetzung unter den Forschungsstellen grossen Wert gelegt und es werden regelmässig themenspezifische Workshops durchgeführt. Das Forschungsprogramm unterstützt ebenfalls nationale und internationale Konferenzen, welche durch Schweizer Institute organisiert werden. Der Einbezug und die Zusammenarbeit mit den Kantonen und den interessierten Fachverbänden sind ebenfalls sehr wichtig.

Die Projekte des Forschungsprogramms werden von speziell eingesetzten Begleitgruppen betreut. Damit kann die vorhandene Fachkompetenz aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik optimal berücksichtigt werden, und die Umsetzung der Forschungsergebnisse wird erleichtert. Die Forschungsergebnisse kommen nebst der Wissenschaft, den Kantonen, der Energiewirtschaft sowie verschiedenen Verbänden und Organisationen zugute. Zur Kommunikation der Schlussberichte werden die Resultate jeweils unter Interessierten gestreut, an Fachtagungen und akademischen Konferenzen präsentiert und in Fachzeitschriften publiziert.

Internationale Zusammenarbeit

In diversen Projekten sind internationale Hochschulinstitute oder Forschungsstellen direkt beauftragt oder indirekt beteiligt. Die Berücksichtigung der internationalen Forschungsliteratur und der rege Austausch an Fachkongressen, in Zeitschriften usw. stellt dabei eine Selbstverständlichkeit dar. Die Schweiz beteiligt sich weiter an folgenden IEA Implementing Agreements:

- Energy Technology Systems Analysis Program (ETSAP) (www.iea-etsap.org);
- Demand Side Management (DSM), Task XXIV: Closing the Loop;
- Co-Operative Programme on Smart Grids (ISGAN).

Laufende und im Berichtsjahr abgeschlossene Projekte

(* IEA-Klassifikation)

- BEWERTUNG VON PUMPSPEICHERKRAFTWERKEN IN DER SCHWEIZ IM RAHMEN DER ENERGIESTRATEGIE 2050**

Lead: **Frontier Economics**

Contact: **Christoph Gatzen** christoph.gatzen@frontier-economics.com

Abstract: Die „Energiestrategie 2050“ sieht für die CH tiefgreifende Umwälzungen der Stromwirtschaft vor. Der Bundesrat sieht in diesem Kontext großes Potenzial für neue Pumpspeicher in der CH, Investoren zweifeln jedoch an deren Wirtschaftlichkeit. Im Projekt wird die derzeitige und zukünftige Marktsituation für neue Pumpspeicher analysiert und wichtige Treiber und Handlungsbedarf bezüglich des heutigen Regulierungsrahmens werden identifiziert.

R&D 7.2*

Funding: BFE	
Period: 2012–2013	
- CITE MODELL - WEITERENTWICKLUNGEN**

Lead: **ETH Zürich**

Contact: **Lucas Bretschger** lbretschger@ethz.ch

Abstract: Das Computable Induced Technical Change and Energy (CITE) Modell wird schrittweise weiter ausgebaut. Im Vordergrund steht dabei eine Verfeinerung des Energiesektors. Das bestehende Top-Down Modell wird somit durch ein detailliertes bottom-up Element erweitert. Weiter sollen die wichtigsten Handelspartner im Modell integriert werden. Dies ermöglicht aussagekräftigere Analysen zu den möglichen Auswirkungen von energiepolitischen Instrumenten.

R&D 7.2

Funding: BFE	
Period: 2011–2013	
- EFFECTS OF ENERGY PRICES ON INNOVATION (INNOVATIONSEFFEKTE VON ENERGIEPREISEN)**

Lead: **ETH Zürich, KOF Konjunkturforschungstelle**

Contact: **Martin Wörter** woerter@kof.ethz.ch

Abstract: Im Rahmen dieser Studie untersuchen wir die Auswirkung von höheren Energiepreisen auf die Innovationstätigkeit der Firmen im Bereich umweltfreundlicher Produkte. Darüber hinaus wird analysiert, ob die Energiepreiseffekte unterschiedlich auf umweltfreundliche Innovation und herkömmliche Innovationen wirken.

R&D 7.2

Funding: BFE	
Period: 2012–2013	
- EINE EVALUATION DER AUSWIRKUNGEN VON ENERGIEEFFIZIENZMASSNAHMEN AUF DEN STROMVERBRAUCH VON HAUSHALTEN**

Lead: **ETH Zürich, CEPE**

Contact: **Massimo Filippini** mfilippini@ethz.ch

Abstract: Dieses Forschungsprojekt hat folgende Ziele: 1. Ökonometrische Schätzung der Haushalts-Stromnachfrage auf der EVU-Ebene. 2. Evaluation der Energieeffizienzmassnahmen auf der EVU-Ebene 3. Ökonometrische Schätzung der Haushalts-Stromnachfrage und die Schätzung der Nachfrage nach Haushaltsgeräten auf der Mikro-Datenbasis.

R&D 7.2

Funding: BFE	
Period: 2012–2015	
- ELECTRA: ELECTRICITY MARKETS AND TRADE IN SWITZERLAND AND ITS NEIGHBOURING COUNTRIES: BUILDING A COUPLED TECHNO-ECONOMIC MODELING FRAMEWORK**

Lead: **Econability F. Vöhringer**

Contact: **Frank Vöhringer** voehringer@econability.com

Abstract: ELECTRA entwickelt ein gekoppeltes Simulationsmodell für Szenarien, die den Schweizer Stromsektor betreffen. Es wird u.a. den (inter-)nationalen Stromhandel in stündlicher Auflösung simulieren können. Dazu bildet ein Strommodell (neben der Schweiz) Erzeugung und Übertragung in den vier Nachbarländern ab. Gekoppelt werden das neue internationale Strommodell CROSSTEM, das Schweizer Gleichgewichtsmodell GENESwIS und das Welthandelsmodell GEMINI-E3.

R&D 7.2

Funding: BFE	
Period: 2011–2013	
- ENERGIEBEZOGENE DIFFERENZIERUNG DER INPUT-OUTPUT-TABELLE 2008**

Lead: **Rütter+Partner**

Contact: **Carsten Nathani** carsten.nathani@ruetter.ch

Abstract: Input-Output-Tabellen (IOT) stellen eine wichtige ökonomische Datenbasis für energiewirtschaftliche Analysen dar (u.a. mit CGE-Modellen). Das Projekt verbessert die Figur der energie- und transportbezogenen Transaktionen in der Schweizerischen IOT 2008. Zudem werden die Energie- und Verkehrsbranchen in der IOT deutlich stärker disaggregiert als in der publizierten IOT. Die energiebezogene IOT wird der Allgemeinheit zur Verfügung gestellt.

R&D 7.2

Funding: BFE	
Period: 2011–2012	
- ENERGIE-INVESTITIONSENTSCHEIDUNGEN BEI STRATEGISCHEN UND INSTITUTIONELLEN INVESTOREN: DER EINFLUSS DER IMPLIZITEN WAHRNEHMUNG ERNEUERBARER ENERGIEN**

Lead: **HSG, Lehrstuhl für Management Erneuerbarer Energien**

Contact: **Rolf Wüstenhagen** rolf.wuestenhagen@unisg.ch

Abstract: Die Energiewende bedingt Investitionen in erneuerbare Energien. Strategische sowie institutionelle Investoren haben Anreize, in erneuerbare Energien zu investieren. Einige Unternehmen richten ihr Geschäftsmodell auf erneuerbare Energien aus, andere reagieren zögerlich. Dieses Projekt untersucht, wie Portfoliomanager erneuerbare Energien wahrnehmen. Kernstück ist ein Reaktionstest, um die implizite Einstellung gegenüber Energieträgern zu messen.

R&D 7.2

Funding: BFE	
Period: 2012–2013	

- **ENERGIESPEICHER IN DER SCHWEIZ: BEDARF, WIRTSCHAFTLICHKEIT UND RAHMENBEDINGUNGEN IM KONTEXT DER ENERGIESTRATEGIE 2050** R&D 7.2
- Lead: DNV KEMA Funding: BFE
- Contact: Oliver Werner oliver.werner@dnvkema.com Period: 2012–2013
- Abstract: Im Rahmen der Energiestrategie 2050 untersucht dieses Projekt, welchen Beitrag Speichertechnologien zum Umbau der Stromversorgung leisten können und welche Bedingungen notwendig sind. Im ersten Projektschritt erfolgt eine Bestandsaufnahme und eine Projektion der Entwicklung von Speichertechnologien. Darauf aufbauend wird der technische Bedarf ermittelt. Zuletzt werden zukünftige Anwendungsgebiete auf Netzebenen sowie die Wirtschaftlichkeit untersucht.
- **ENTWICKLUNG EINES ENTSCHEIDUNGSFINDUNGSMODELLS ZUR BESCHREIBUNG DES ENTSCHEIDUNGSVERHALTENS BEIM KAUF VON ELEKTROGERÄTEN** R&D 7.2
- Lead: ETH Zürich Funding: BFE
- Contact: Michael Siegrist msiegrist@ethz.ch Period: 2012–2015
- Abstract: Die Förderung der Energieeffizienz ist ein wichtiger Ansatzpunkt zur Reduktion des Stromverbrauchs. Im Rahmen dieses Projekts soll ein Modell zur Beschreibung des Entscheidungsverhaltens beim Erwerb von Elektrogeräten entwickelt werden. Es soll aufgezeigt werden, wie Konsumenten bei der Verarbeitung von Produktinformationen beim Kauf von Elektrogeräten vorgehen und wie der Fokus verstärkt auf Energieverbrauchsinformationen gelenkt werden kann.
- **IMPACT ASSESSMENT EINER EINFÜHRUNG VON SMART METERING IM ZUSAMMENHANG MIT SMART GRIDS IN DER SCHWEIZ** R&D 7.2
- Lead: ETH Zürich, Bits to Energy Lab Funding: BFE
- Contact: Thorsten Staake tstaake@ethz.ch Period: 2011–2012
- Abstract: Die Folgeabschätzung analysiert die zu erwartenden wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Kosten und Nutzen verschiedener Szenarien eines Smart Metering Rollouts in der Schweiz. Dabei wird auch gezeigt, bei welchen Akteuren diese Kosten und Nutzen auftreten und in welcher Form eine Smart-Metering-Infrastruktur die Entwicklung eines Smart Grids beeinflusst. Der grösste Gesamtnutzen wird im Szenario "Rollout bei 80% der Haushalte" erwartet.
- **INNOPOWER: UNTERSUCHUNG DER FRÜHPHASE VON PRODUKTINNOVATIONEN BEI KMU IM ENERGIESEKTOR** R&D 7.2
- Lead: HSG Funding: BFE
- Contact: Peter Hürzeler peter.huerzeler@unisg.ch Period: 2008–2012
- Abstract: Ziel des Projektes ist es, ein besseres Verständnis der Aktivitäten von KMU in der Frühphase des Produktinnovationsprozesses zu erlangen. Diese umfassen das Identifizieren von Opportunitäten, die Ideengenerierung, frühe Selektions- und Entscheidungsprozesse, die Rolle der zwischenbetrieblichen Kooperation sowie den Umgang mit Planungsunsicherheiten. Die Fragestellungen werden anhand von im Energiesektor tätigen Schweizer KMU untersucht.
- **INVESTITIONSVERHALTEN VON MFH-BESITZERN UND MARKTPOTENZIALE HINSICHTLICH NEUER RENOVATIONSTECHNIKEN UND -KONZEPTE** R&D 7.2
- Lead: ETH Zurich, CEPE Funding: BFE, CCEM, Kt
- Contact: Massimo Filippini mfilippini@ethz.ch Period: 2009–2012
- Abstract: Das Projekt analysiert den Entscheidungsprozess bei Erneuerungen von Mehrfamilienhäusern (MFH). Die Ergebnisse einer Umfrage zeigen, dass die Raten energieeffizienter Erneuerungen nach wie vor tief sind. Die Analyse zu den Faktoren, nach welchen MFH-Besitzern Renovationsalternativen bewerten, hat aufgezeigt, dass eine hohe Investitionsbereitschaft für vorfabrizierte Module (Bsp. CCEM-Projekt Advanced Retrofit) besteht.
- **OPEN-SOURCE MODEL DEVELOPMENT AND SCENARIO ANALYSIS IN COLLABORATION WITH THE WORLD ENERGY COUNCIL** R&D 7.2
- Lead: Paul Scherrer Institute (PSI) Funding: BFE u. a.
- Contact: Hal Turton hal.turton@psi.ch Period: 2012–2013
- Abstract: Das Ziel des Projekts ist die quantitative Szenarienanalyse für das globale Energiesystem. In Zusammenarbeit mit dem Weltenergierrat werden mögliche Entwicklungen in der Energiegewinnung (fossil, nuklear und erneuerbare), in deren Umwandlung und im Endverbrauch in einem detaillierten Kostenoptimierungsmodell mit Zeithorizont Jahr 2050 untersucht. Das Modell umfasst 15 Weltregionen und wird als Open-Source Modell ausgelegt.
- **RECORE - RESOURCE CONSERVING RENOVATION - ENERGY EFFICIENT, RESOURCE CONSERVING AND DIFFERENTIATED RENOVATION OF HISTORIC EUROPEAN BUILDING STOCKS** R&D 7.2
- Lead: ETH Zürich, IDB Funding: BFE
- Contact: Niklaus Kohler nk@nkohler.eu Period: 2011–2012
- Abstract: Das Projekt analysiert einen historischen Gebäudebestand der Stadt Basel unter einem komplexen Multikapitalansatz und entwickelt langfristige Erhaltungsstrategien über alternative Szenarios. Anstelle von linearen Absenkpfeilen werden langfristige Nutzungs- und Technologieoptionen definiert, in Szenarios erprobt und auf Energieeffizienz- und Werterhaltungsziele hin überprüft.

- **RITES: RÉSEAUX INTELLIGENTS DE TRANSPORT/TRANSMISSION DE L'ÉLECTRICITÉ EN SUISSE.** R&D 7.2
- | | | | |
|----------|---|----------|-----------|
| Lead: | ORDECSYS | Funding: | BFE |
| Contact: | Alain Haurie
alain.haurie@ordecsys.com | Period: | 2011–2012 |
- Abstract: Das Projekt RITES hat zum Ziel, ein Instrument zur Energiemodellierung zu entwickeln (Horizont 2050), welches lokal anwendbar ist, sowie den Einfluss von Smart-Grid-Technologien (intelligente Stromnetze) miteinbezieht. Dies ermöglichte es, den potenziellen Beitrag von Smart-Grids zur Produktion erneuerbarer Energien sowie der Abschwächung der unumgänglichen Strompreiserhöhung aufzuzeigen.
- **SEPIA: SOCIAL CUSHIONING OF ENERGY PRICE INCREASES AND PUBLIC ACCEPTABILITY** R&D 7.2
- | | | | |
|----------|---|----------|-----------|
| Lead: | Econability F. Vöhringer | Funding: | BFE |
| Contact: | Frank Vöhringer
voehringer@econability.com | Period: | 2012–2014 |
- Abstract: SEPIA untersucht Massnahmen zur sozialen Abfederung von Energiepreiserhöhungen hinsichtlich ihrer ökonomischen Wirkungen und gesellschaftlichen Akzeptanz. Das Gleichgewichtsmodell GENESwS berechnet die ökonomischen Wirkungen. Eine repräsentative Umfrage untersucht die Einschätzungen der Bevölkerung, die i.d.R. von den Berechnungen stark abweichen. Gesucht werden Ansätze für Design und Akzeptanzsteigerung ökonomisch sinnvoller Massnahmen.
- **SMART METERING, BERATUNG ODER SOZIALER VERGLEICH - WAS BEEINFLUSST DEN ELEKTRIZITÄTSVERBRAUCH?** R&D 7.2
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | Uni Lausanne | Funding: | BFE |
| Contact: | Rafael Lalive
rafael.lalive@unil.ch | Period: | 2010–2013 |
- Abstract: Das Projekt untersucht die Rolle von Information auf den Elektrizitätsverbrauch von Haushalten. Die Studie analysiert dreierlei Arten von Information: Kontinuierliche und detaillierte Information über den eigenen Stromkonsum mittels eines Smart Meters, (ii) Informationsgewinn durch eine professionelle Energieberatung und (iii) Zugang zu Informationen zum Stromkonsum von vergleichbaren Haushalten.
- **SOZIALPSYCHOLOGISCHE AKZEPTANZ VON WINDKRAFTPROJEKTEN AN POTENTIELLEN STANDORTEN - EINE QUASIEXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNG** R&D 7.2
- | | | | |
|----------|---|----------|-----------|
| Lead: | Universität Zürich, Lehrstuhl Sozialpsychologie | Funding: | BFE |
| Contact: | Götz Walter
g.walter@psychologie.uzh.ch | Period: | 2012–2013 |
- Abstract: In fünf Schweizer Gemeinden wurde mittels eines standardisierten Fragebogens die lokale Akzeptanz möglicher Windkraftprojekte untersucht. Die Bedeutung verschiedener Einflussfaktoren wurde quantitativ bewertet und zwischen Einwohnergruppen verglichen. Zusätzlich wurde die Relevanz spezifischer Personen / Organisationen für die Akzeptanzbildung analysiert, ebenso wie die Bereitschaft von Einwohnern, sich aktiv am Planungsprozess zu beteiligen.
- **SUBSTITUTION ELASTICITIES IN SWISS MANUFACTURING** R&D 7.2
- | | | | |
|----------|---|----------|-----------|
| Lead: | other | Funding: | BFE |
| Contact: | Daniel Müller
daniel.mueller@wirtschaftsstudien.ch | Period: | 2011–2012 |
- Abstract: In diesem Projekt schätzen wir Substitutionselastizitäten für Schweizer Industriesektoren. Dabei werden zwei verschiedene Modellansätze verwendet. Zum einen unterstellen wir eine Translog-Kostenfunktion (ökonomische Elastizitäten), und zum anderen eine verschachtelte CES Produktionsfunktion (technische Elastizitäten). Wir interpretieren unsere Schätzergebnisse und vergleichen sie mit branchenspezifischen Elastizitäten von anderen EU Ländern.
- **SWISS TIMES ENERGY SYSTEM MODEL (STEM) FOR TRANSITION SCENARIO ANALYSES** R&D 7.1
- | | | | |
|----------|---------------------------------|----------|---------------------|
| Lead: | Paul Scherrer Institute (PSI) | Funding: | BFE + PSI (in-kind) |
| Contact: | Hal Turton
hal.turton@psi.ch | Period: | 2010–2013 |
- Abstract: Das Ziel dieses Projektes ist das Verständnis zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten des Schweizer Energiesystems, auf der Basis von Entwicklung und Anwendung eines technologiereichen "bottom-up" Energiemodells, STEM. STEM soll genutzt werden um Szenarien mit Strukturänderungen im Energiesystem zu untersuchen, um die Wirksamkeit zukünftige Energietechnologien und Infrastrukturoptionen zu analysieren.
- **TECHNOLOGICAL SUCCESSION AND SUBSTITUTION ELASTICITIES** R&D 7.2
- | | | | |
|----------|----------------------------------|----------|-----------|
| Lead: | ETH Zürich, KOF | Funding: | BFE |
| Contact: | Peter Egger
egger@kof.ethz.ch | Period: | 2010–2013 |
- Abstract: Ein empirisches Modell der Determinanten von Energiepreisen wurde für 28 OECD Länder über die Periode 1980–2009 entwickelt. Resultate zeigen, dass das BIP/Kopf und tiefere Energieeffizienz in der Energieverteilung zu höheren Energiepreisen führen, während höhere Energie Nettoimporte und die Dotierung mit Energie die Preise reduzieren. Länder, welche die gleichen Energieträger verwenden geben sich Energiepreis Schocks weiter.

● **TOU-PRICING: TIME OF USE PRICING**

R&D 7.2

Lead: ORDECSYS

Funding: BFE

Contact: Alain Haurie

alain.haurie@ordecsys.com

Period: 2012–2013

Abstract: Das Projekt TOU hat zum Ziel den Einfluss von Demand-Response Mechanismen zu bewerten. Um das Potenzial dieser Technologien zu evaluieren ist es essenziell die Reaktion von Verbrauchern zu betrachten. Nachdem wir die Akzeptanz analysiert haben, werden wir eine Energiemodellierung entwickeln, die den potenziellen Beitrag von Demand-Response unter Berücksichtigung der Akzeptanz von Verbrauchern zur Energieeinsparung bewerten kann.

● **VERBRAUCHSFEEDBACK FÜR DIE WARMWASSER-NUTZUNG**

R&D 7.2

Lead: ETH Zürich, Bits to Energy Lab

Funding: BFE

Contact: Thorsten Staake

tstaake@ethz.ch

Period: 2012–2013

Abstract: Ziel der Feldstudie ist die Untersuchung des Einflusses von sozialen Vergleichen, Selbsteinschätzung, und erklärter Absicht zu sparen auf die private Energienutzung. Insbesondere wird der Einfluss von Feedback-Informationen auf die Warmwassernutzung bei 700 Zürcher Haushalten untersucht. Durch die Berücksichtigung einer vorherigen Studie zu Feedback-Informationen auf den Stromverbrauch werden Quervergleiche angestellt.

● **VOLKSWIRTSCHAFTLICHE BEDEUTUNG ERNEUERBARER ENERGIEN IN DER SCHWEIZ**

R&D 7.2

Lead: Rütter+Partner

Funding: BFE

Contact: Carsten Nathani

carsten.nathani@ruetter.ch

Period: 2010–2012

Abstract: Im Projekt wurde untersucht, welche wirtschaftliche Bedeutung die Nutzung erneuerbarer Energien heute in der Schweiz hat und wie sie sich voraussichtlich bis zum Jahr 2020 entwickeln wird.

● **ZEITPRÄFERENZEN UND ENERGIESPAREN**

R&D 7.2

Lead: ETH Zürich, Professur für Soziologie

Funding: BFE

Contact: Andreas Diekmann

diekmann@soz.gess.ethz.ch

Period: 2009–2013

Abstract: Entscheidungen über energiesparende Investitionen in Privathaushalten fallen aus ökonomischer Sicht oft nicht rational aus. Dadurch gehen teilweise hohe Einsparpotentiale verloren. Dieses Projekt geht den Ursachen solcher Entscheidungen anhand einer erneuten Befragung der Teilnehmenden des Schweizer Umweltsurveys 2007 nach. Der Schwerpunkt der Studie liegt auf der Bedeutung von Zeitpräferenzen für das Energiesparen in Privathaushalten.

Bundesamt für Energie BFE
Energieforschung
3003 Bern

Office fédéral de l'énergie OFEN
Recherche énergétique
3003 Berne

www.energy-research.ch

